Application Note

雑音指数(Noise Figure) の測定方法

MS269xA-017/MS2830A-017

雑音指数測定機能 (Noise Figure Measurement Function)

目次

1. はじめに

テレビのデジタル化を背景にチャネル数増加と映像系双方向通信(ビデオオンデマンド等)の市場拡大に伴い放送衛星も増加し、これら衛星から送信される映像を受信する LNB(Low Noise Block Down Converter)の需要が高まっています。
無線機の受信部入力端における SNR(信号対雑音比: Signal to Noise Ratio)は、通信システムで必要とされる重要な性能の 1 つです。特に衛星通信システムでは受信機に到達する送信パワーが低いため NF(Noise Figure: 雑音指数)を低くすることが重要になります。
LNB にはダウンコンバータの変換ロスや到達する送信パワーを補填し LNB の NF を低くするために NF の低い LNA(Low Noise Amp)が入っており、設計から生産工程における測定で NF の測定が不可欠となっています。

更に LNB の測定項目は NF や変換利得だけでなく IP3(3rd order Intercept Point)などがあるため、スペクトラムアナライザを使用する場面があります。スペクトラムアナライザを用いた NF 測定は IP3 やスプリアス測定も 1 台でおこなえるメリットがあります。

本アプリケーションノートでは、まず NF 測定における基礎的な解説を行い、続いてスペクトラムアナライザを使用した NF の測定方法について解説します。
NF の測定方法は LNA などのアンプを測定するアンプモードと周波数コンバータが入っている LNB や MIXER を測定するコンバータモードとに分けて解説します。

また、実際の被測定物(DUT: Device Under Test)評価における注意点について解説します。

2. 雑音指数(Noise Figure)の基礎

2.1. 雑音指数とは

この章では、アンプなどの部品で発生するノイズを定量的に示すために用いられる、NF(Noise Figure: 雑音指数)について解説します。
雑音性能は *SNR* の変化で示されます。
これは、入力の *SNR*: *SNR_in* に対し、出力の *SNR*: *SNR_out* の比で定義され、文献により表現は異なりますが、多くの場合、この比を Noise Factor: *F* として定義しています。(式(1), 式(2))

$$SNR = \frac{Signal_Level[mW]}{Noise_Level[mW]} \quad (SNR_dB = Signal_Level[dBm] - Noise_Level[dBm]) \qquad \cdots(1)$$

$$F = \frac{SNR_in}{SNR_out} = \frac{S_in / N_in}{S_out / N_out} \qquad \cdots(2)$$

F を dB 表記したものが NF と呼ばれ、下記式にて定義されます。

$$NF = 10 \times Log(F) \qquad \cdots(3)$$

これら式の理解を深めるのに、雑音を付加しない理想的な増幅器があると仮定して考えます。
この場合、増幅器の入出力における *SNR* は変わりませんので、*F*=1, NF=0dB となることが分かります。
一方、線形な増幅器の場合、入力された信号の *SNR*(*SNR_in*)を考えたとき、*S_in* に対しては、増幅器のゲイン(*G*)倍された出力 *S_out* = *G*×*S_in* を出力し、*N_in* に対しては、ゲイン(*G*)倍された出力 *N_out* = *G*×*N_in* に加え、ある一定の雑音パワー(*N_add*)が加算され出力されます。
これを式で示すと、下記の通りとなります。

$$S_out = G \times S_in$$
$$N_out = N_add + G \times N_in \qquad \cdots(4)$$

(4)式を(2)式に代入すると、Noise Factor : *F* を求める式が導かれます。

$$F = \frac{N_add + G \times N_in}{G \times N_in} \qquad \cdots(5)$$

この時、式(5)を図示したものを図 2-1 に示します。ここから分かる重要なことは、ある任意の 2 点での測定結果から、*N_add* 及びゲインを導けるという点です。
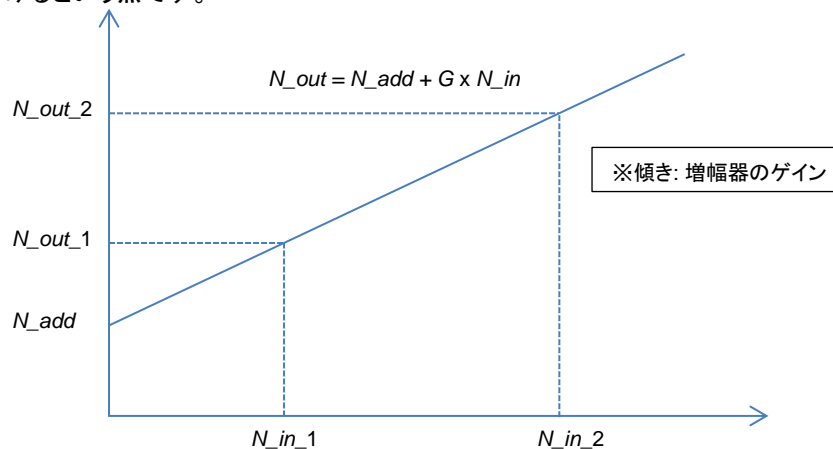
図 2-1. 線形増幅器に雑音を入力した場合の応答

2.2. 多段接続時の雑音指数

本項では、アンプに代表される雑音を付加するアクティブデバイスを多段接続した場合の雑音指数について説明します。図 2-2 に、多段に接続された DUT(=アンプ)と各段での雑音成分を示します。
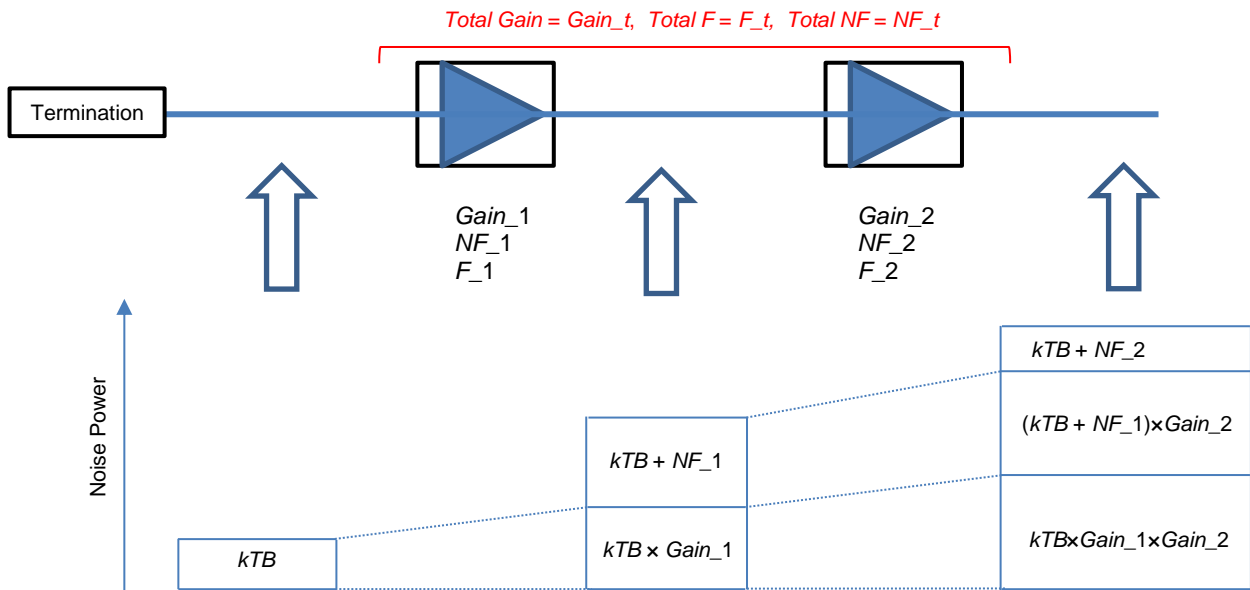
図 2-2. 多段接続時の NF 概念図

これを数式で示すと、系全体の *F* は下記式で示すことができます。

$$F_t = F1 + \frac{F2-1}{Gain_1} \quad \cdots(6)$$

$$F_t = F1 + \frac{F2-1}{Gain_1} + \frac{F3-1}{Gain_1 \times Gain_2} + \ldots + \frac{Fn-1}{Gain_1 \times Gain_2 \times \ldots \times Gain_n} \quad \cdots(7)$$

式(7)から分かるように、全体の *F*(*NF*)は、初段に、*F*(*NF*)が小さくゲインが大きいアンプを使用することで、後段の *F*(*NF*)の影響を小さくできます。この動作は、スペクトラムアナライザにおけるプリアンプの原理にも適用されています。

※スペクトラムアナライザにおけるプリアンプの役割

スペクトラムアナライザでは、1st ミキサの前段に LNA(Low Noise Amplifier)を使用することで、スペクトラムアナライザの表示平均雑音レベル(Displayed Average Noise Level: DANL)を改善する手法が用いられます。この LNA をプリアンプと呼びます。式(7)に従うと、プリアンプは、より前段のブロックに配置される場合のほうが、効果が高くなり、もっとも表示平均雑音レベルを改善できるのは、スペクトラムアナライザの入力端に取り付けることであると容易にわかります。NF 測定のように、低いレベルのパワー測定を行う場合には、スペクトラムアナライザの表示平均雑音レベルは低いほうが望ましく、内部に組み込まれたプリアンプの使用を推奨しています。
また、スペクトラムアナライザの RF 入力端に、別途プリアンプを取り付けることで、さらなる表示平均雑音レベルが改善できます。

2.3. 雑音指数の測定方法

2.3.1. 直接法

直接法とは、雑音指数をスペクトラムアナライザにより、パワーの絶対値を測定し、その値から NF を算出する測定方法です。
この測定法のメリットは、測定系がシンプルに構成できる点がありますが、デメリットとしては、高性能な測定器が必要となることです。

以下に、具体的な測定例を示しながら説明します。

1) 表示平均雑音レベルが-141dBm/Hz のスペクトラムアナライザを用いて、ゲイン: 10dB, NF : 3dB のアンプを測定する場合

$$-141\,dBm/Hz + 10 \times (-174\,dBm/Hz + 3\,dB) = -140.96\,dBm/Hz \quad \cdots(8)$$

→スペクトラムアナライザを終端した場合の表示平均雑音レベルに対し、約 0.04dB のレベル変化が観測されます。

2) 表示平均雑音レベルが-161dBm/Hz のスペクトラムアナライザを用いて、ゲイン: 10dB, NF : 3dB のアンプを測定する場合

$$-161\,dBm/Hz + 10 \times (-174\,dBm/Hz + 3\,dB) = -158\,dBm/Hz \quad \cdots(9)$$

→スペクトラムアナライザを終端した場合の表示平均雑音レベルに対し、約 3.0dB のレベル変化が観測されます。

まず、1) の例においては、0.04dB というレベル差を取得することで、DUT の NF が 3dB であることが求まります。この時に、測定器のパワー測定における確度が±0.01dB であった場合、算出される NF 値の不確かさは
+0.9dB / -1.4dB となります。
一方で、2) の例では、3.0dB というレベル差を取得することで、DUT の NF が 3dB であることが求まりますが、1) の例と同様に、パワー測定における確度が±0.01dB であった場合、算出される NF 値の不確かさは
+0.04dB / -0.04dB となります。

このように、測定器の雑音レベルによって、算出される NF 値の不確かさが大きく異なり、NF 値が小さいほど、高性能な測定器が必要です。

※-174dBm とは、常温下における熱雑音レベルです。kTB 雑音とも呼ばれ、27℃(300K)環境下での雑音レベルは、次式で示されます。

$$k \times T \times B = 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \times 1 = 4.14 \times 10^{-21}\,[W/Hz]$$
$$10 \times Log\{4.14 \times 10^{-21} \times 10^{3}\ [mW/Hz]\} = -173.82\,[dBm/Hz] \quad \cdots(10)$$

※式(8), 式(9)では、計算の簡略化のため-174dBm/Hz として計算しています。

k : ボルツマン定数, 1.38×10^{-23}
T : 絶対温度 [K]
B : 帯域幅 [Hz]

2.3.2. Y ファクタ法

2 つの、レベルの異なる信号を DUT に入力し、この 2 信号の SNR を入力段と出力段で比較することにより、DUT の NF を算出する方法が Y ファクタ法と呼ばれる測定方法です。
Y ファクタとは、以下に定義されるパラメータで、ある 2 つの状態のレベルの比を表したパラメータです。

$$Y = \frac{N_out_2}{N_out_1} = \frac{N_add + G \times N_in_2}{N_add + G \times N_in_1} \quad \cdots (11)$$

$$F = \frac{N_in_2 / N_in_1}{Y - 1} \quad \cdots (12)$$

$$F = \frac{ENR}{Y - 1} \quad \cdots (13)$$

一般的に、*N_in*_1, *N_in*_2 を発生させるために、ノイズレベル間の比を正確に定義したノイズソースと呼ばれるデバイスが用いられます。
この 2 つのノイズレベル間の比は *ENR*(Excess Noise Ratio: 過剰雑音比)と呼ばれ、校正された数値として提供されます。

$$ENR_dB = (NoiseSource_on[dBm]) - (NoiseSource_off\ [dBm])$$
$$ENR_Linear = \frac{NoiseSource_on[mW]}{NoiseSource_off\ [mW]} \quad \cdots (14)$$

3. スペクトラムアナライザでの NF 測定方法(アンプモード)

3.1. Y ファクタ法での NF 測定手順と原理

この項では、具体的に Y ファクタ法を用いた NF 測定方法について説明します。
測定手順としては 3 段階のステップがあります。

- セッティング: 周波数設定、ENR テーブルの設定、解析時間長の設定などをおこなう
- キャリブレーション: Y ファクタ法を用いスペクトラムアナライザの *NF*(*NF*_2)を測定し、ノーマライズします。
- 測定: Y ファクタ法を用いスペクトラムアナライザと DUT を含む全体の *NF*(*NF*_*t*)を測定し、DUT の Gain_1 から式(7)から DUT の *NF*(*NF*_1)を算出する。

詳細な手順について以下に説明します。

① 測定系の校正を行います。(測定系の構築)
この校正では、ノイズソースをスペクトラムアナライザの入力端に直接接続し、Y ファクタ法に則った測定を行うことで、測定系(スペクトラムアナライザ)の NF を算出します。

図 3-1 に、校正時の測定系を示します。校正時は、スペクトラムアナライザ背面にあるノイズソースコネクタと、ノイズソースの電源端子を接続し、ノイズソース出力をスペクトラムアナライザに直結します。
また、ノイズソースによっては DC 電圧を出力するものがあります。このようなノイズソースを使用する場合は、図 3-2 のように、DC ブロックをスペクトラムアナライザ入力に取り付けたうえで、ノイズソースを接続してください。(DC 出力のあるノイズソースについては、5 章参照)

<u>校正時</u>
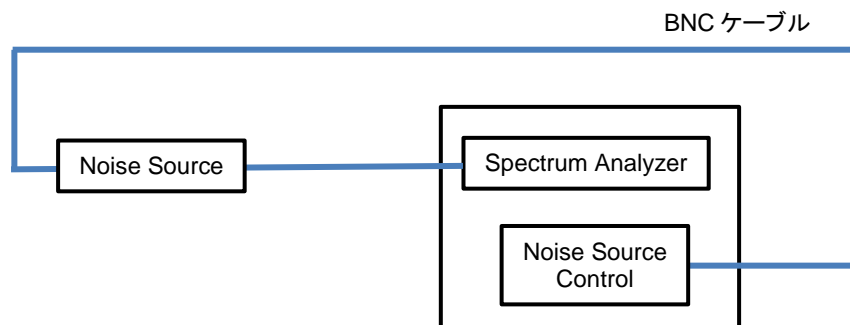
図 3-1. 校正時の測定系 (DC ブロック不要の場合)
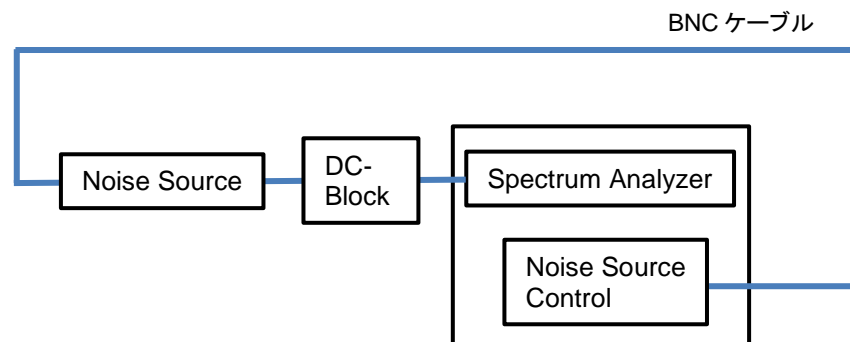
図 3-2. 校正時の測定系 (DC ブロックが必要な場合)

② 測定条件の設定を行います。
まず、使用するノイズソースのパラメータ設定を行います。
ノイズソースごとに校正された ENR 値を参照し、図 3-3 ~ 図 3-5 のように ENR 値の設定を行います。
また、使用するノイズソースごとに図 3-6 のように ENR テーブルを作成します。

【手順】
ファイルを呼び出すことで ENR 値を設定します。
1. [Common setting]キーを押します。

2. [ENR]キーを押します。

3. [Meas Table]キーを押します。

4. [Recall Meas Table]キーを押します。

5. ファイルの一覧から設定したいファイルを選びます。
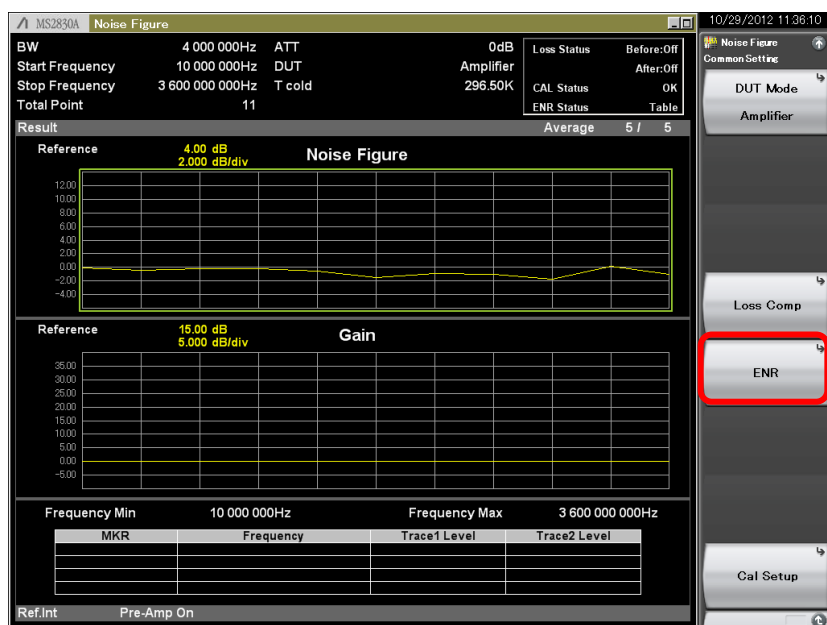
図 3-3. 校正時の ENR 設定画面
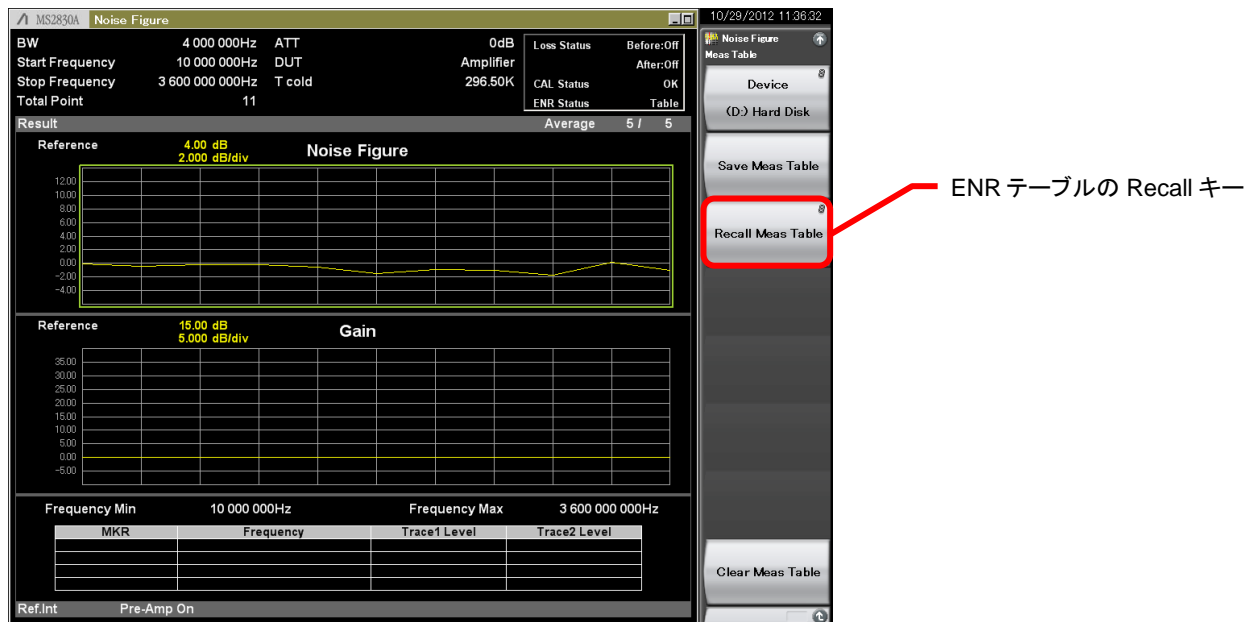
図 3-4. ENR ファイルの Recall 画面
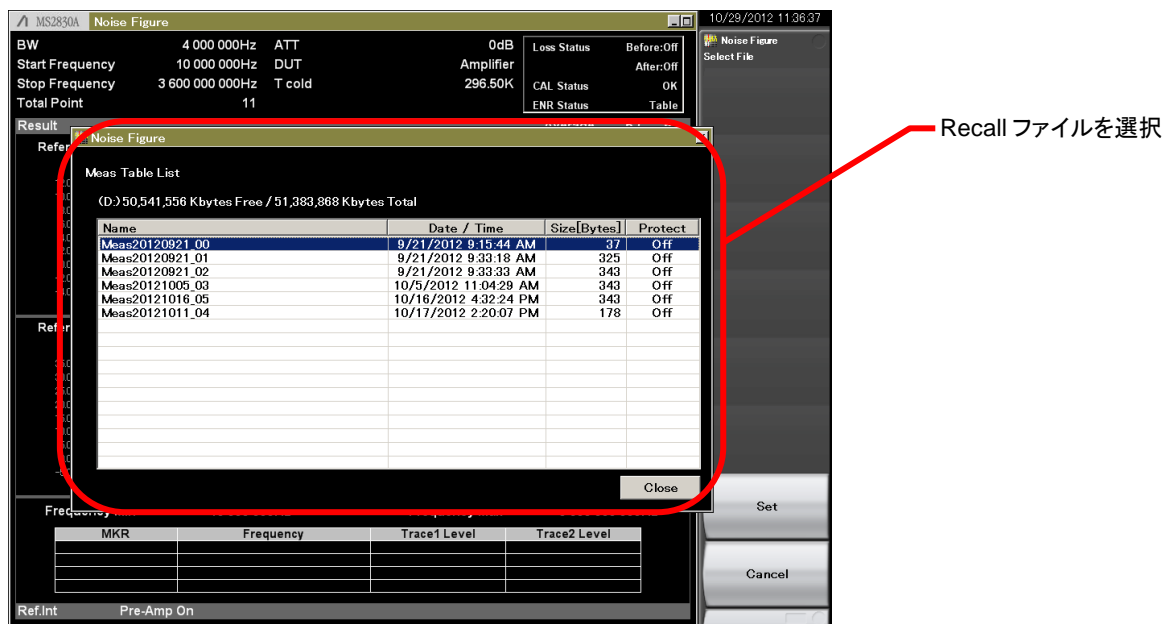
図 3-5. ENR ファイル選択画面

ENR ファイルの編集方法は一度保存することでファイルを新規で作り、そのファイルを編集します。

保存フォルダ
\ANRITSU CORPORATION\SIGNAL ANALYZER\USER DATA\NF Data\ENR

デフォルトファイル名
MeasYYYYMMDD_NN.csv : YYYYMMDD は年月日、NN は追い番

【手順】
ENR ファイルの内容を編集します。
1. [Common setting]キーを押します。

2. [ENR]キーを押します。

3. [Meas Table]キーを押します。

4. [Save Meas Table]キーを押します。

5. 保存フォルダにあるファイルを開きます。

6. 「周波数,ENR 値」として入力する。周波数の単位は Hz とする。

7. ファイルを上書き保存する。
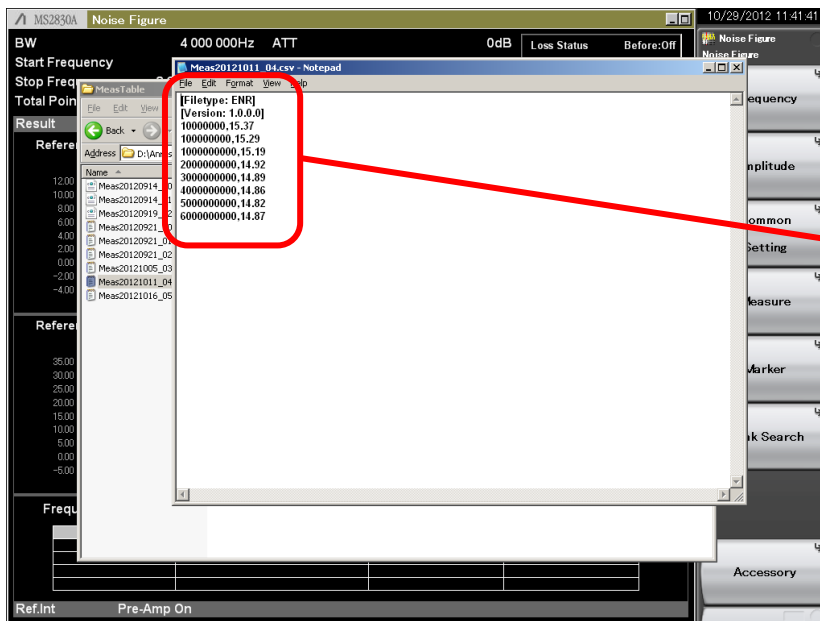
図 3-6. ENR ファイルの Edit 画面

次に、測定周波数範囲, 測定ポイント数, 測定帯域幅, 解析時間長, Storage の On/Off 設定を行います。(図 3-7, 図 3-8 参照)
解析時間長を長くすることや、Storage On/Off 設定にて平均化処理を設定することで、測定精度は改善しますが、トレードオフとして測定時間が長くなります。
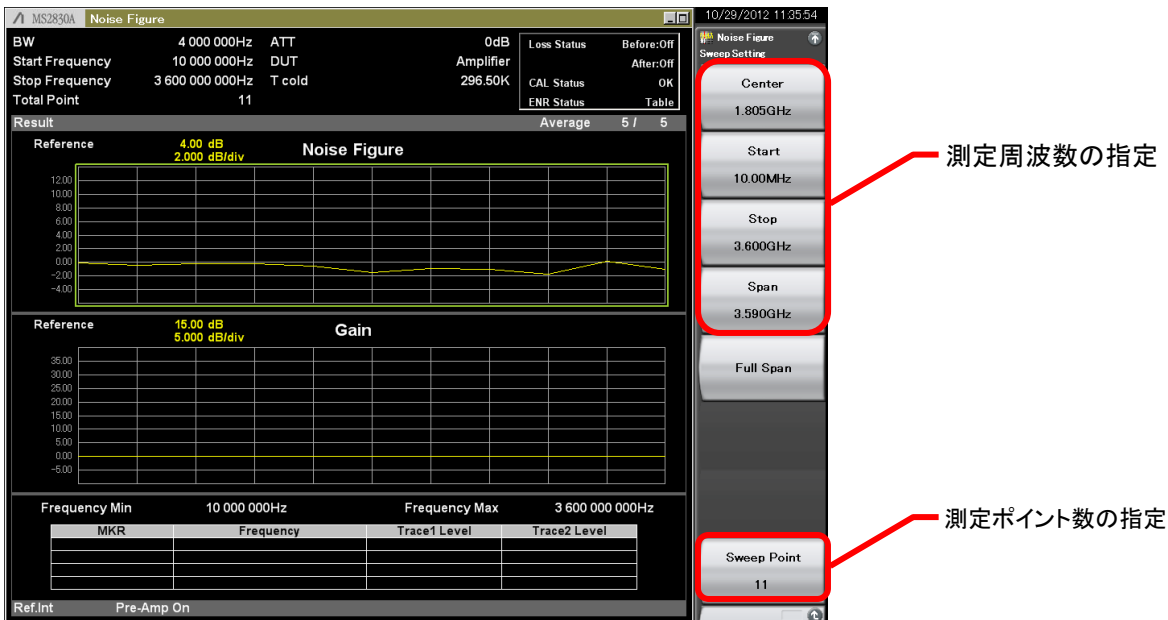
図 3-7. 測定周波数の設定画面
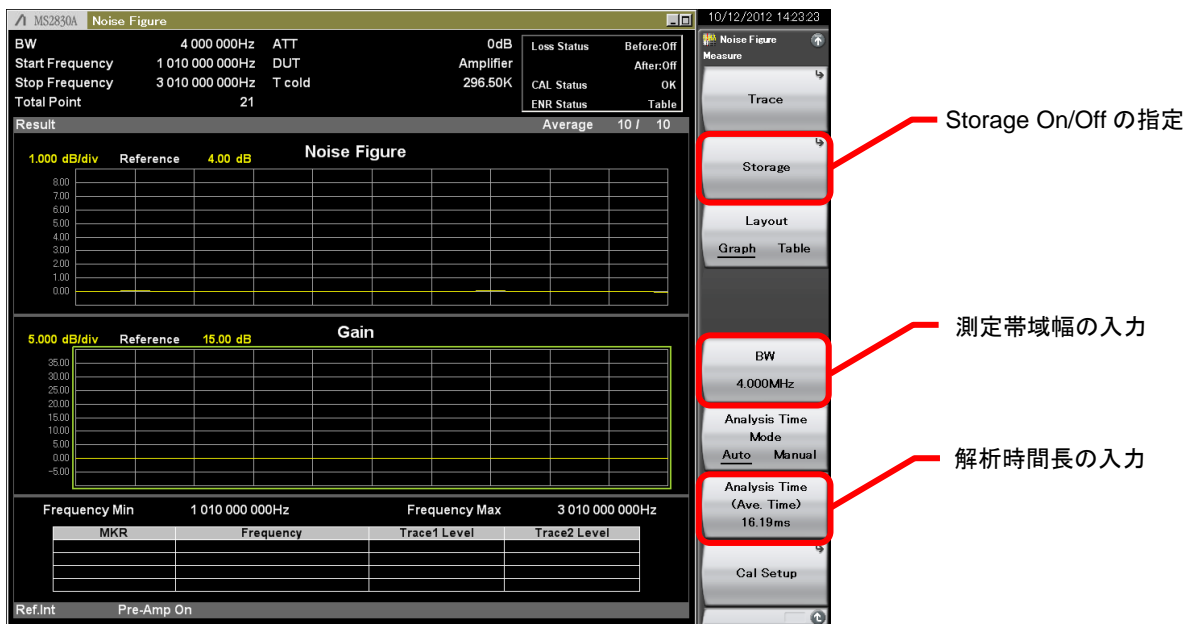
図 3-8. 測定条件の設定画面

解析時間長を長くすることで測定精度が向上する一例を紹介します。
解析時間長を 100ms と 300ms の場合の 10 回測定した測定値のばらつきを以下に示します。これは測定の一例であり、保証された値ではありません。

解析時間長	10 回測定した中でのばらつき
100ms	0.054dB
300ms	0.026dB

③　校正を実行します。(測定系の NF 値の取得)
図 3-9 に示す [Calibration Now] キーにて校正を実行します。
また、図 3-10 に示す[Cancel]キーにて、校正を中止することが出来ます。(図中の Progress 表示が 100%になると校正は完了します。)

【手順】
CALIBRATION を実行します。

1.　[Common Setting]キーを押します。

2.　[Cal Setup]キーを押します。

3.　[Calibration Now]キーを押します。
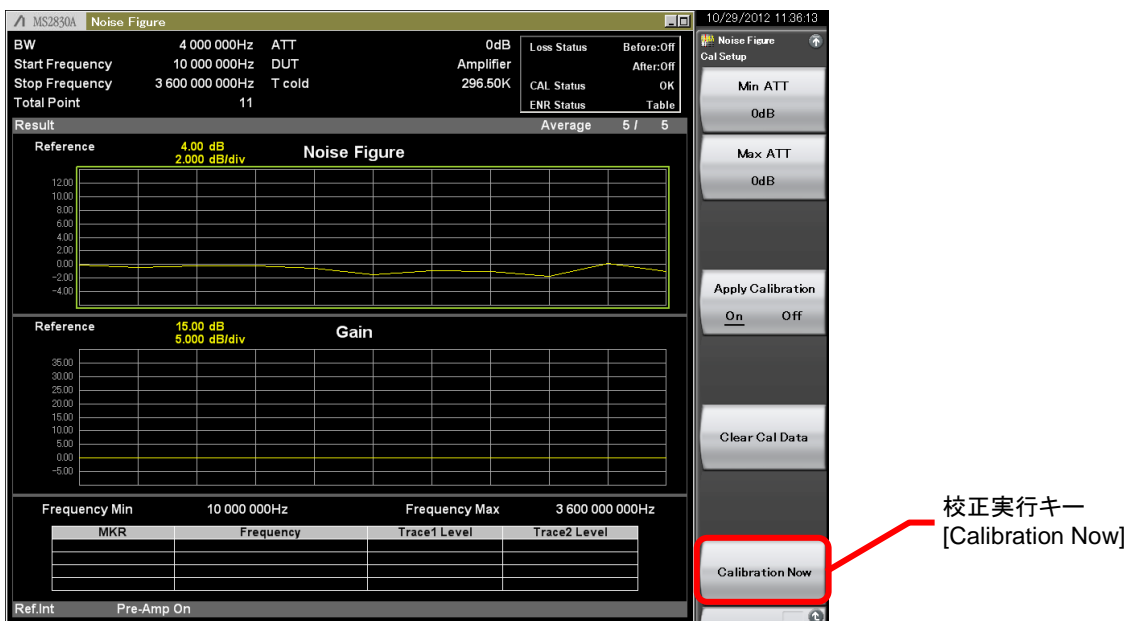
図 3-9. Calibration 実行画面
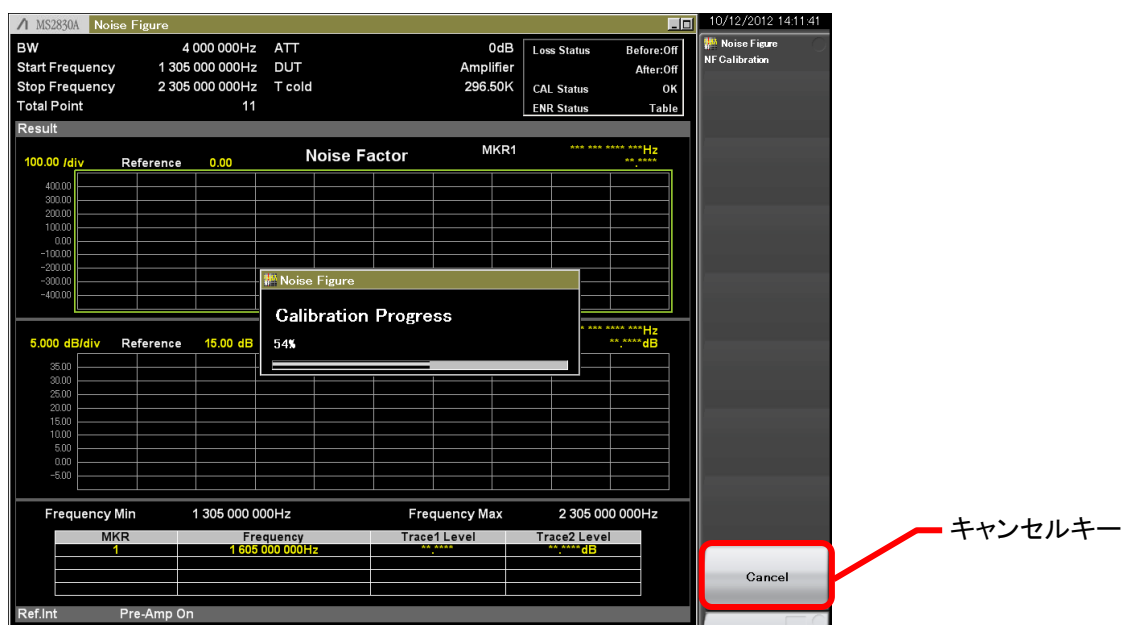
図 3-10.Calibration 中の画面

④ DUT 接続時の測定を行います。
ここでは、校正を実行した状態で、ノイズソースと測定系(スペクトラムアナライザ)間に DUT を接続します。この時に Y ファクタ法により算出される NF は(DUT + 測定系)全体の NF となります。

雑音指数測定機能では、DUT 接続時に測定される *NF*(*NF_t*)と、校正時に測定される測定系の *NF*(*NF*_2)から、式(7)を用いて、DUT の *NF*(*NF*_1)を算出し、結果をグラフまたは表で示します。

DUT 接続時
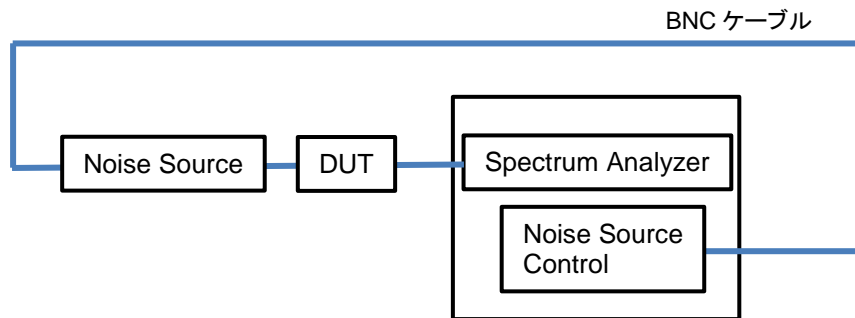
図 3-11. DUT を接続した時の測定系 (DC ブロック不要の場合)
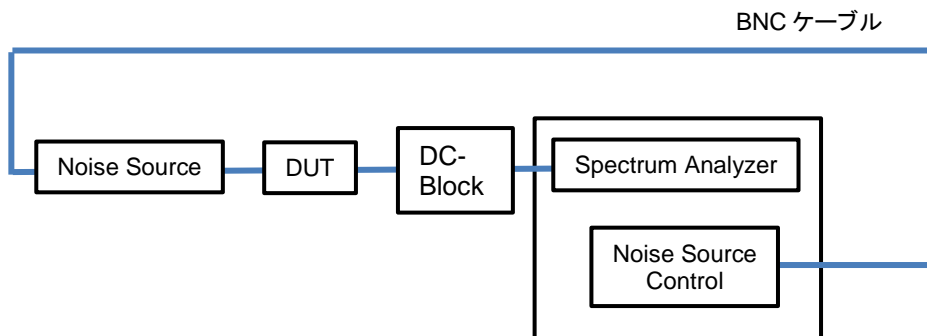
図 3-12. DUT を接続した時の測定系 (DC ブロックが必要な場合)

測定結果をグラフ表示からテーブル表示に変更する場合は Measure ボタンから操作を行います。

【手順】

測定結果表示をグラフからテーブルに切り替える。

1. [Measure]キーを押します。

2. [Layout]キーを押します。

図 3-13. 測定結果画面 (Graph)

図 3-14. 測定結果画面 (Table)

4. スペクトラムアナライザでの NF 測定方法(コンバータモード)

4.1. コンバータモードでの NF 測定

ミキサやミキサを含んだモジュールなどの周波数コンバータを測定する場合の接続例をいくつか示します。

Opt020, 021 を Local Oscillator として使用する場合
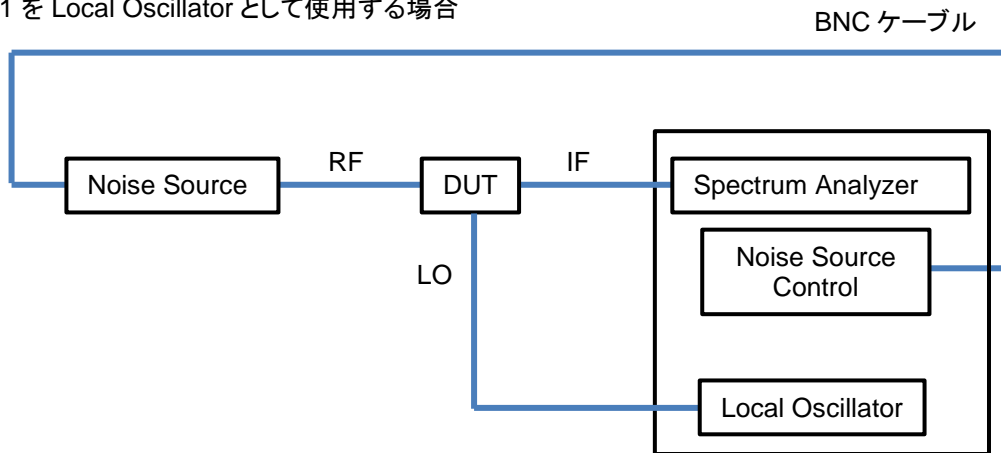
図 4-1. Opt020, または Opt021 の場合の接続例

外部 SG を Local Oscillator として使用する場合
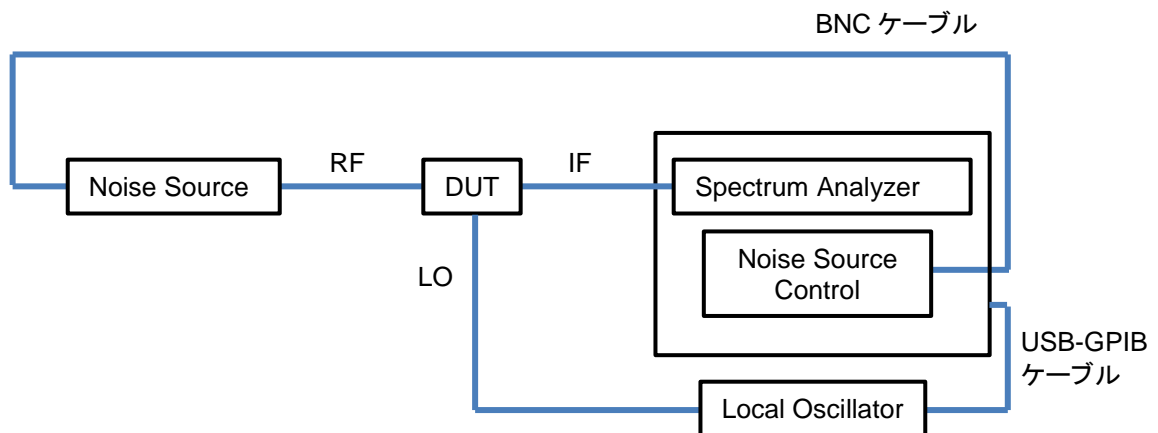
図 4-2. LO 信号として外部の信号発生器を使用した場合の接続例

LNB(Low Noise Block Down Converter)など LO 用発信器が内蔵されている DUT の場合
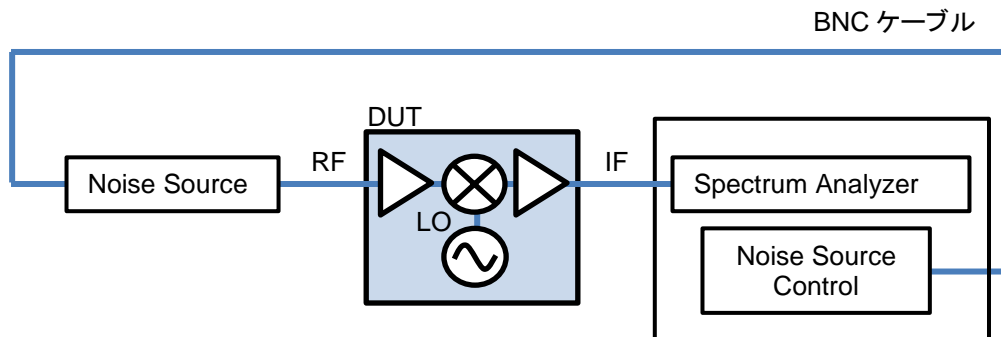
図 4-3. LO 発信器が内蔵されている DUT を測定する場合の接続例

周波数コンバータを DUT とした場合に、NF 測定に影響のあるいくつかの特性があります。
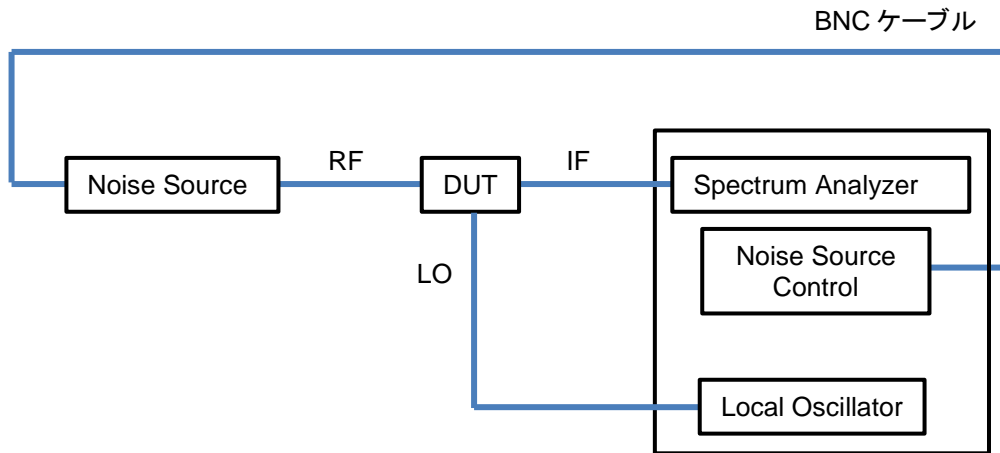
図 4-4. Opt020、または Opt021 の場合の接続例

RF･･･Noise Source – DUT 間。DUT に入力するポートを指す
LO･･･DUT – Spectrum Analyzer 間。DUT から出力するポートを指す
IF･･･Local Oscillator – DUT 間。Local Oscillator から DUT に LO 信号を入力するポートを指す

- イメージレスポンスなどのスプリアスの影響
  ミキサなど周波数コンバータではイメージレスポンス、マルチプルレスポンス、IF フィードスルーの応答により予期しない信号が発生し雑音源になります。
- LO の影響
  LO 内の雑音がミキサで IF 周波数帯に変換されると雑音がシステムの雑音指数に追加されます。LO 内の雑音量により変わりますが、イメージレスポンス、マルチプルレスポンスなどの周波数関係にある雑音の影響を受けます。
- LO リークによる影響
  ミキサの LO-IF アイソレーションが少なく IF ポートに LO 成分が存在する場合、他のスプリアス信号を作り出す可能性があります。

これらの懸念される影響を受けないために測定に最適なフィルタを各ポートに追加することがあります。

4.2. 測定の検討

周波数コンバータでの NF 測定では測定のために以下の 4 つの項目を検討、選択いたします。
例として、

RF 周波数: 11~12GHz
LO 周波数: 10GHz
IF 周波数: 1~2GHz

の MIXER を DUT とします。

① DUT Mode の選択
DUT が周波数をダウンコンバートするタイプかアップコンバートするタイプによります。
例の場合、IF 周波数＜RF 周波数の関係のためダウンコンバートを選択します。

② LO Mode の選択
LO 固定を選択すると IF 可変となり DUT の IF 応答を調べることができます。RF 周波数は設定された LO 周波数と IF 周波数から計算されます。
LO 可変を選択すると IF 固定となり DUT の RF 応答を調べることができます。LO 周波数は設定された RF 周波数と IF 周波数から計算されます。
例の場合、LO 周波数が 1 ポイントであるため LO 固定を選択します。

③ Side Band Mode の選択
2 つの応答(fLO+fIF, fLO-fIF)を持つミキサを両側波帯(DSB)ミキサと呼びます。これに対し単側波帯(SSB)ミキサと呼び、fLO+fIF は上側波帯(USB)、fLO-fIF を下側波帯(DSB)と呼びます。
例の場合、RF 周波数＝LO 周波数＋IF 周波数 と計算されるため USB を選択します。

④ フィルタの有無
イメージレスポンスやマルチプルレスポンス、IF フィードスルーの影響を抑制するためにフィルタを入れることがあります。
例の場合では、イメージレスポンスを発生させないように RF ポート側に 11GHz 以上を通過させるハイパスフィルタ、または 11GHz~12GHz を通過させるバンドパスフィルタを入れたり、IF ポート側に 2GHz 以下を通過させるローパスフィルタ、または 1GHz~2GHz を通過させるバンドパスフィルタを入れることがあります。
①~③の選択により 10 種類の分類があります。それぞれについて関係図を次ページに紹介します。

例の場合での周波数関係を図 4-5 に示します。
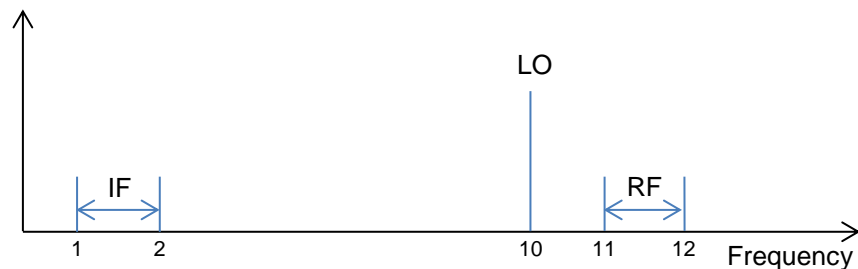
図 4-5. 例での周波数関係

DUT Mode, LO Mode, Side Band Mode の設定により 10 種類の組み合わせがあります。以下の表にそれぞれの周波数関係と自動で計算される式を示します。

RF	RF 周波数
LO	LO 周波数
IF	IF 周波数

○	LO Mode で設定する周波数
□	管面で設定する周波数
無印	自動で計算される周波数

DUT Mode：Down Converter の場合
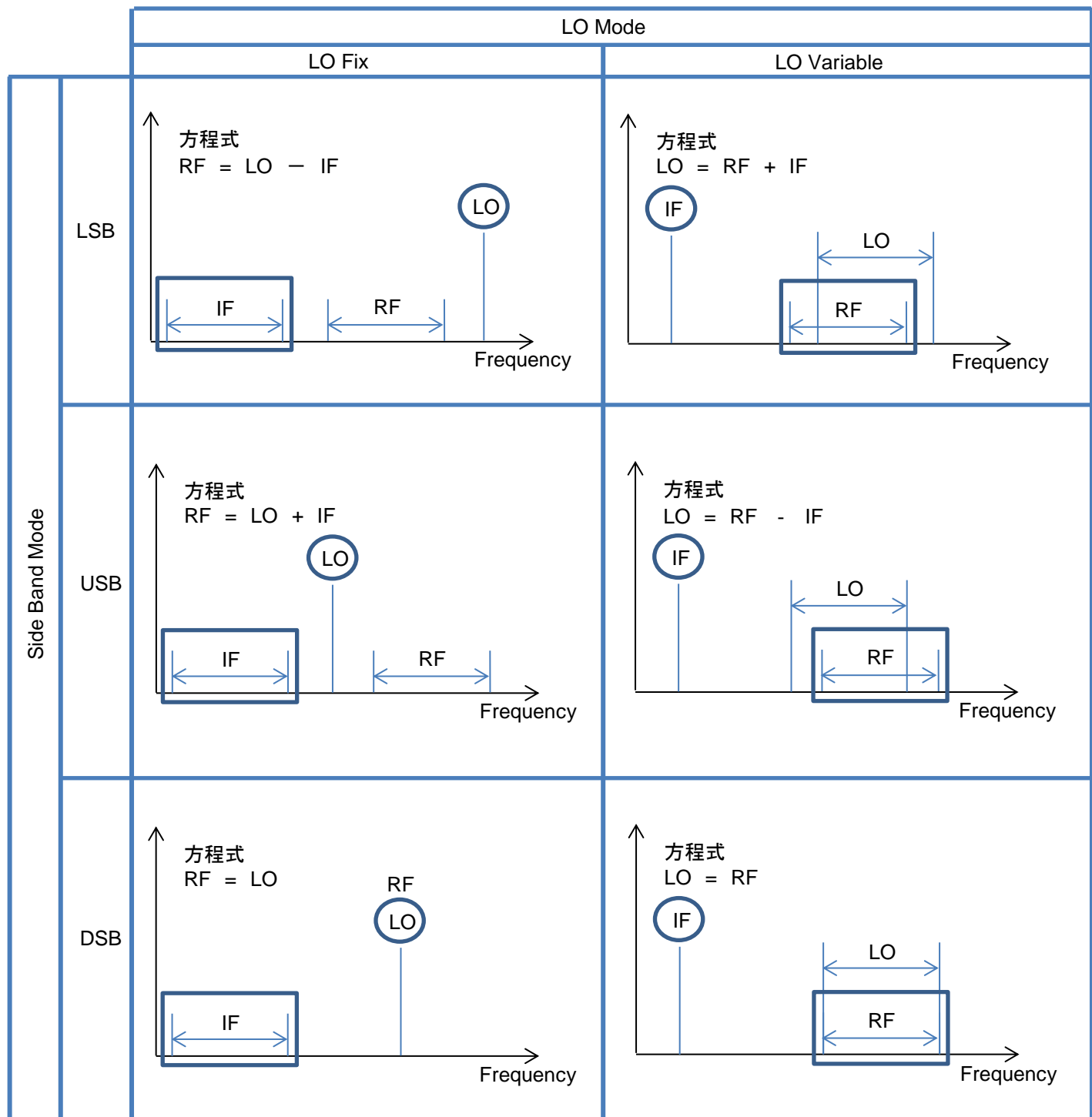
図 4-6.　Down Converter モードでの組み合わせ

DUT Mode：Up Converter の場合
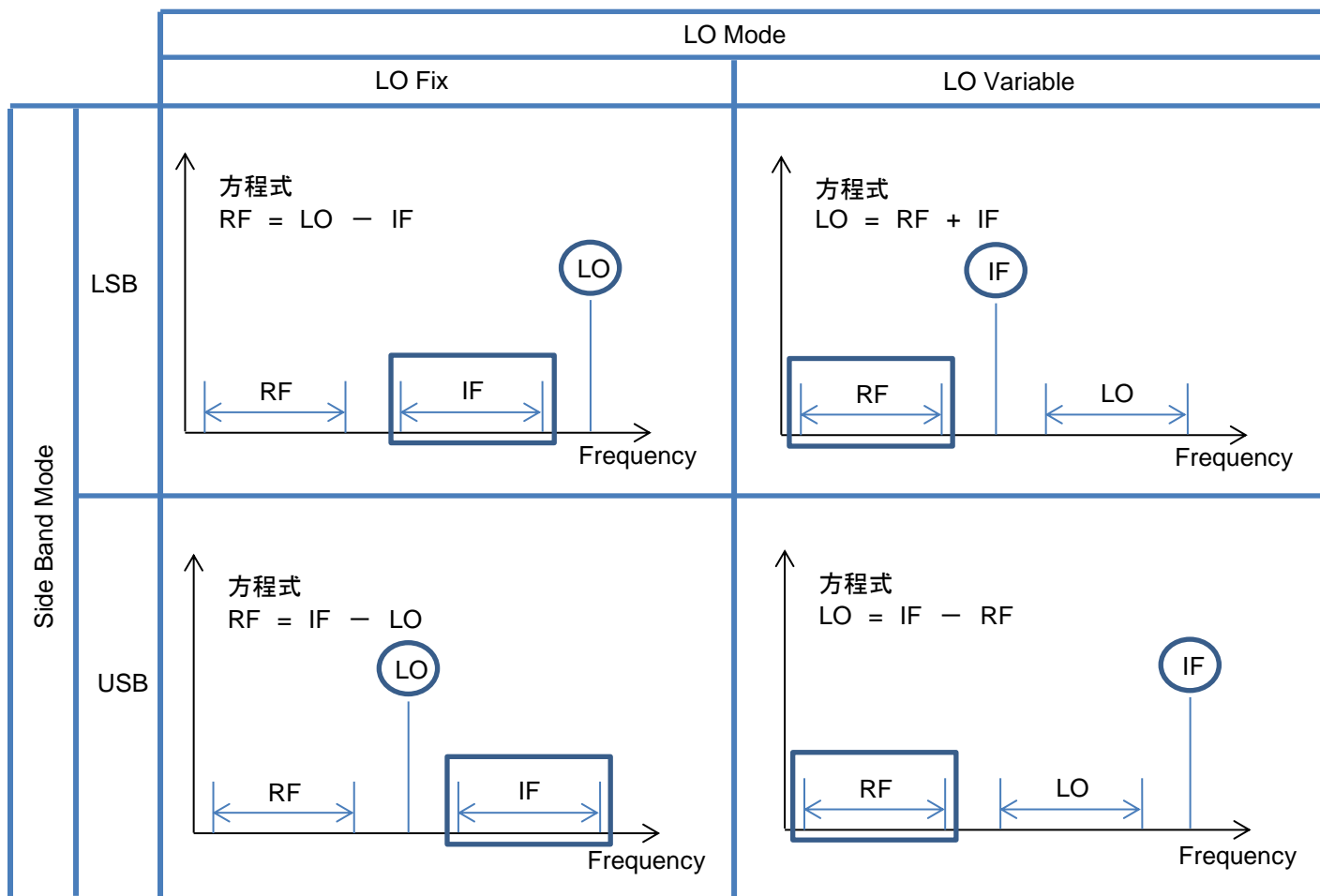
図 4-7.　Up Converter モードでの組み合わせ

4.3. コンバータモードでの NF 測定手順

コンバータモードでの測定手順は DUT モードの選択に違いはあるがアンプモードと同じ測定手順である。

① 測定の準備を行います。
図 4-8, 図 4-9 に示すように DUT モードの設定をおこない、その後に LO Mode, Side Band Mode の設定をおこないます。
LO Mode の設定によって Local Freq または IF Freq を設定します。
信号発生器を使用して LO を DUT に入力する場合は LO Control を On にした後に LO Select ボタンを押し信号発生器を選択します。(図 4-10 参照)
信号発生器が 1 台の場合は該当の名前が表示されます。

【手順】
DUT モード, LO Mode, Side Band Mode の設定をおこなう。
1. [Common Setting]キーを押します。

2. [DUT Mode]キーを押します。

3. 「Down Converter」を選択します。

4. [Convert Setup]キーを押します。

5. [LO Mode]キーを押します。

6. 「Fixed」を選択します。

7. [LO Freq]キーを押し LO 信号の周波数を 8GHz に設定します。

8. [Side Band Mode]キーを押します。

9. 「LSB」を選択します。
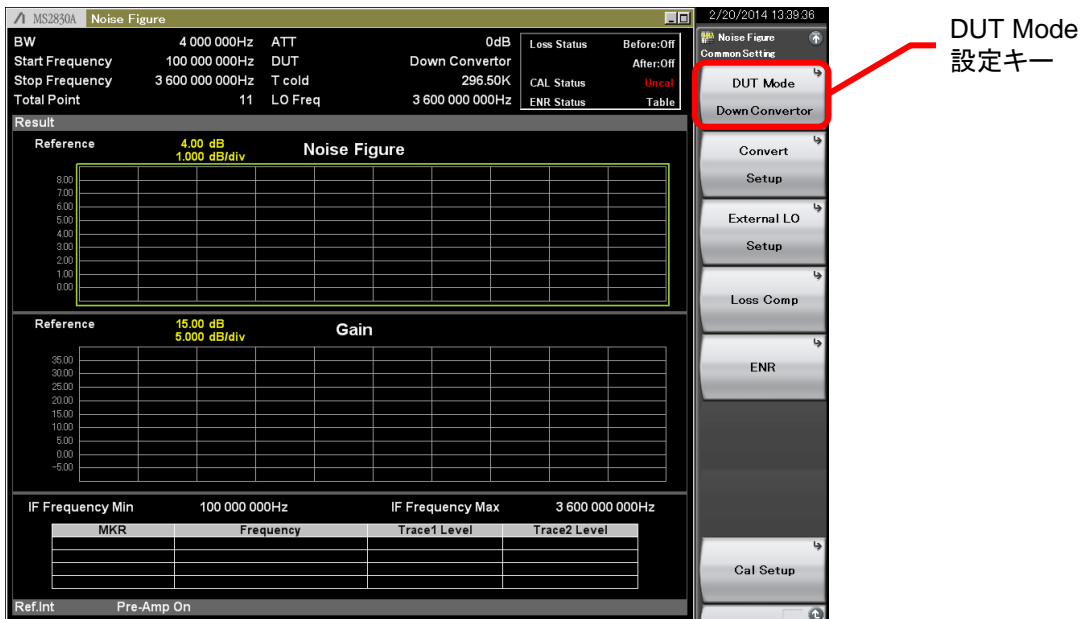
図 4-8. DUT Mode の設定画面
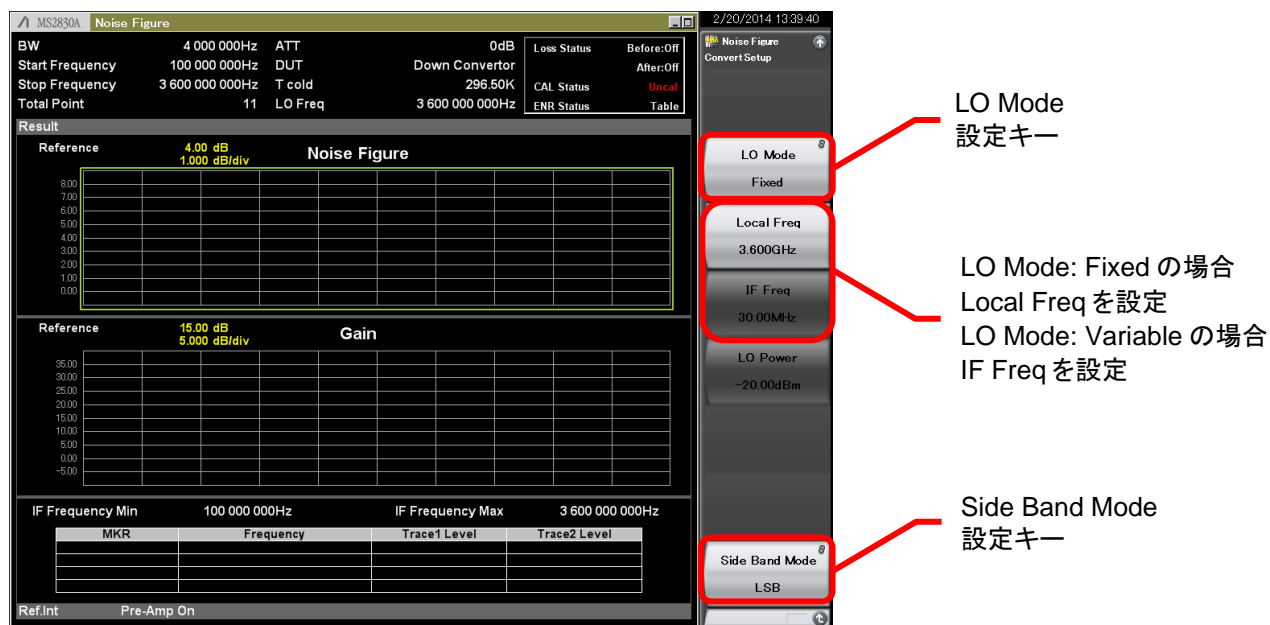
図 4-9.LO Mode、Side Band Mode の設定画面

図 4-10. LO Control の設定画面

② 次に ENR 値を入力します。
図 3-3~図 3-6 にあるようにファイルを読み込むことも可能ですが、図 4-11~図 4-14 に示すように ENR 値を直接修正することも可能です。
Edit キーを押し、各周波数での ENR 値や周波数を変更することができます。
CAL で使用するノイズソースと測定で使用するノイズソースが異なる場合は、図 4-12 に示すように Use Table for CAL ボタンから CAL Table を選択し、CAL で使用するノイズソースの ENR 値を CAL Table に入力します。

【手順】
ENR 値を編集し ENR テーブルを保存します。

1. [Common Setting]キーを押します。
2. [ENR]キーを押します。
3. [Meas Table]キーを押します。
4. [Edit]キーを押します。
5. [Freqency]キーを押して周波数を 10MHz に設定します。
6. ENR 値を 15.2dB に設定します。
7. ノイズソースに書かれている ENR 値を周波数ごとに入れていきます。
8. [Save Meas Table]キーを押し、修正した ENR テーブルを保存します。

図 4-11. ENR の設定画面
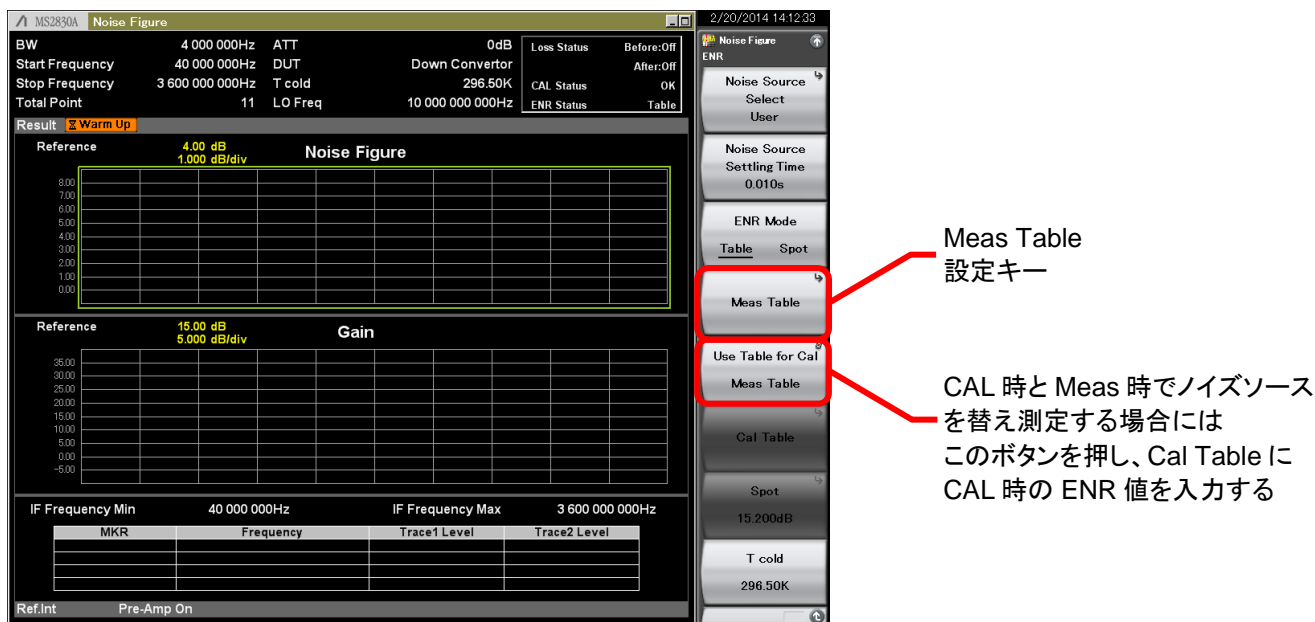
図 4-12.Meas Table, CAL Table の設定画面
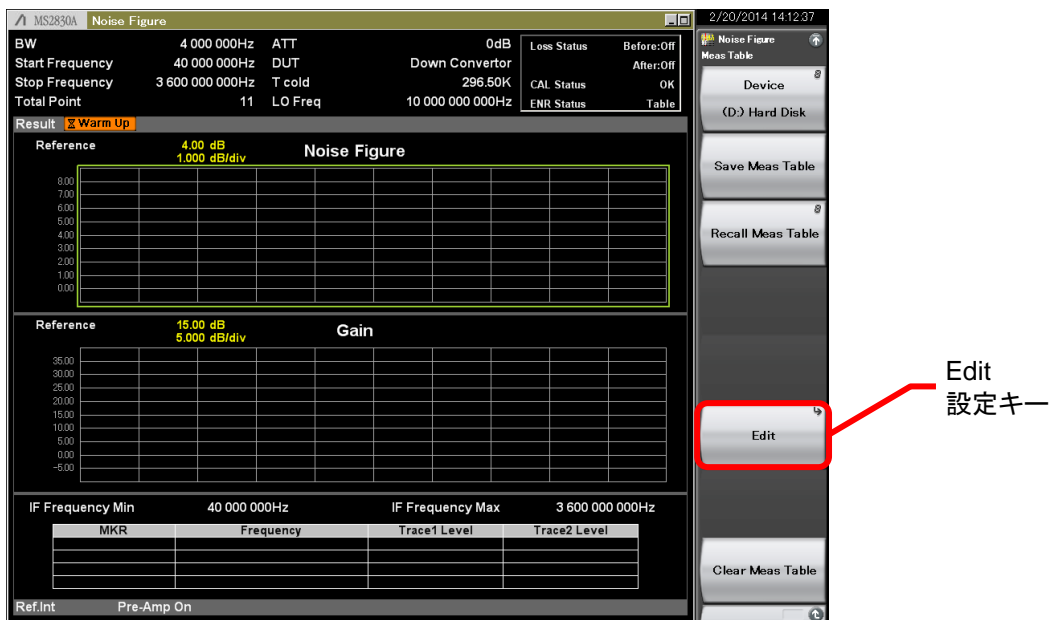
図 4-13. ENR 値編集機能の設定画面
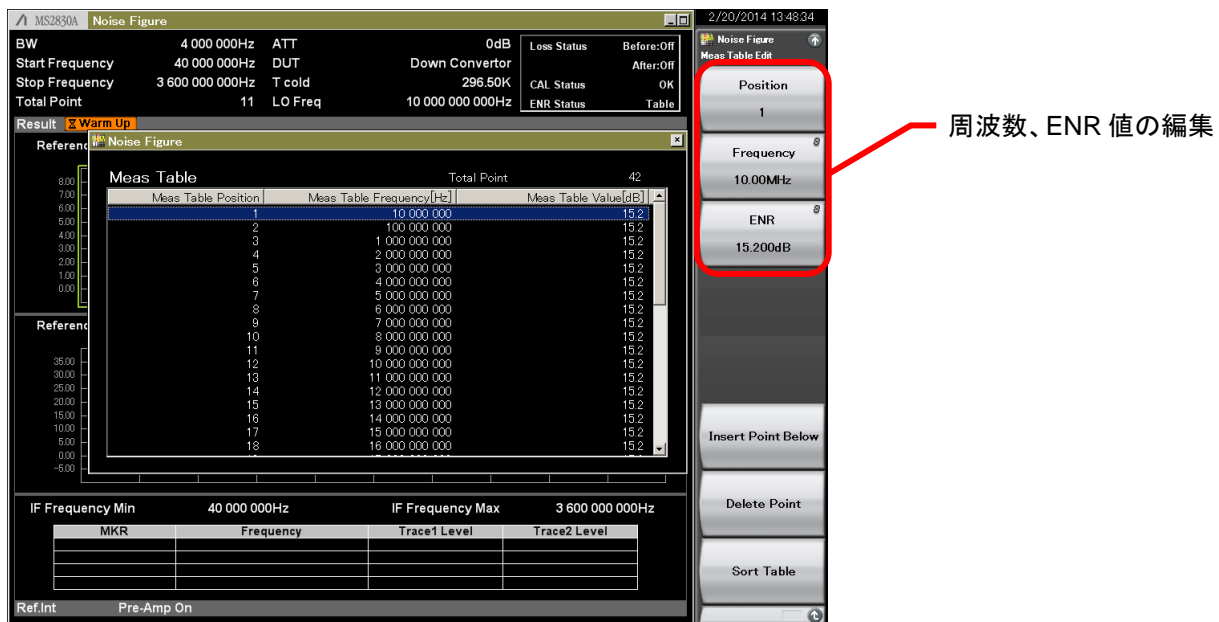
図 4-14.ENR 値の編集画面
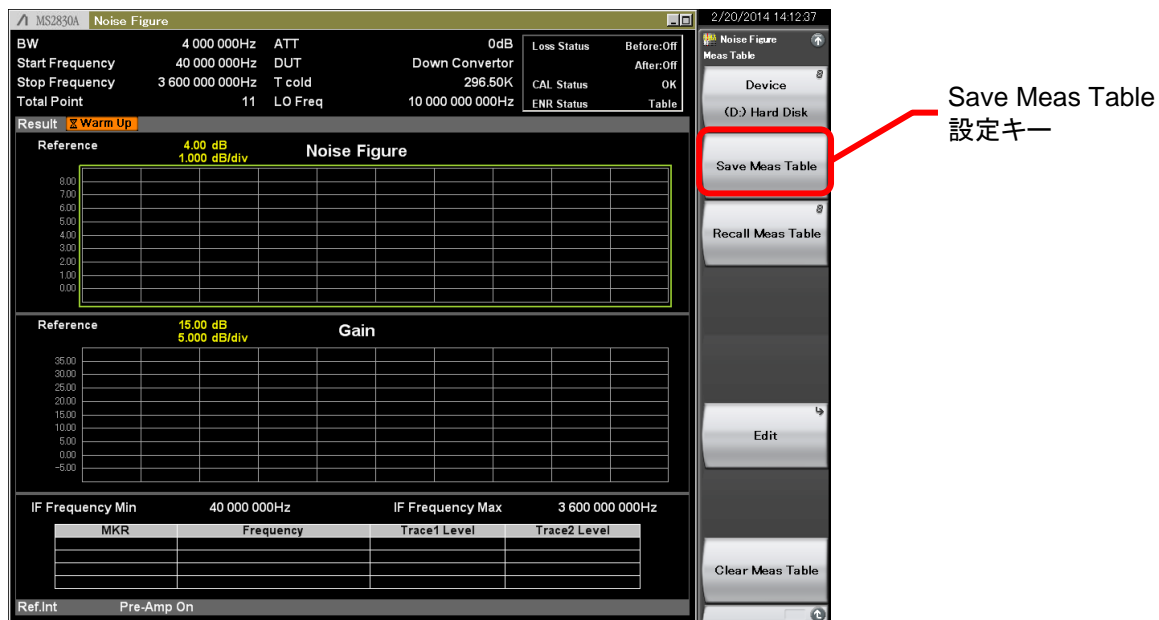
図 4-15. ENR 値の保存設定画面

次に、測定周波数範囲、測定ポイント数、測定帯域幅、解析時間長、Storage の On/Off 設定を行います。この操作は図 3-7, 図 3-8 で示した操作と同じです。
解析時間長を長くすることや、Storage On/Off 設定にて平均化処理を設定することで、測定精度は改善しますが、トレードオフとして測定時間が長くなります。
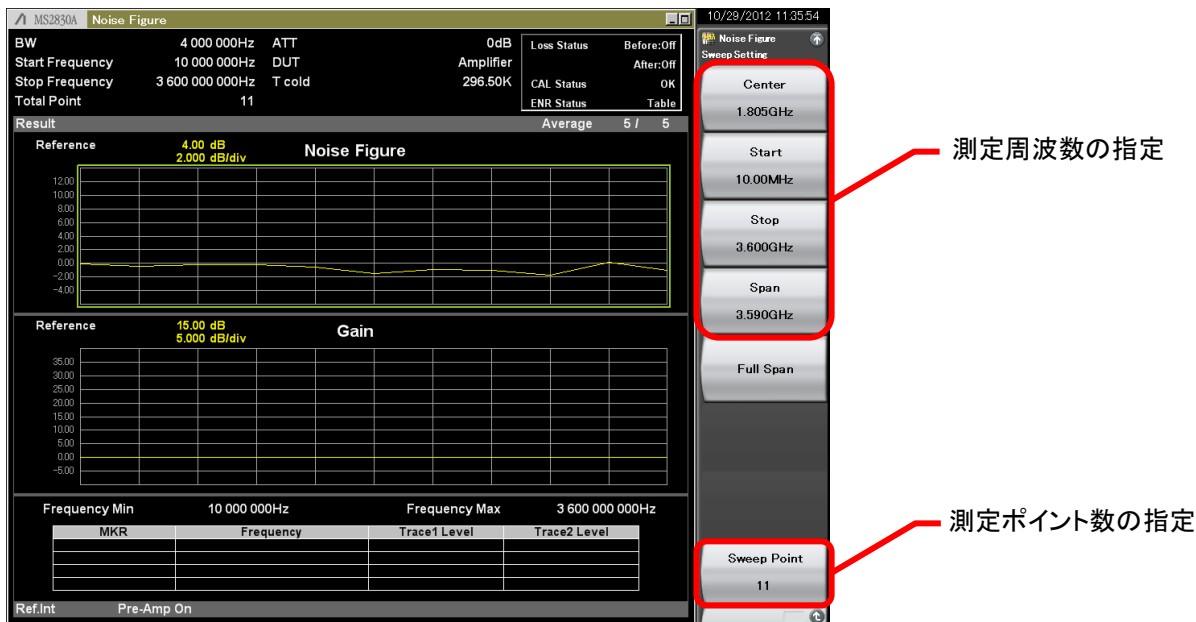
図 4-16. 測定周波数の設定画面
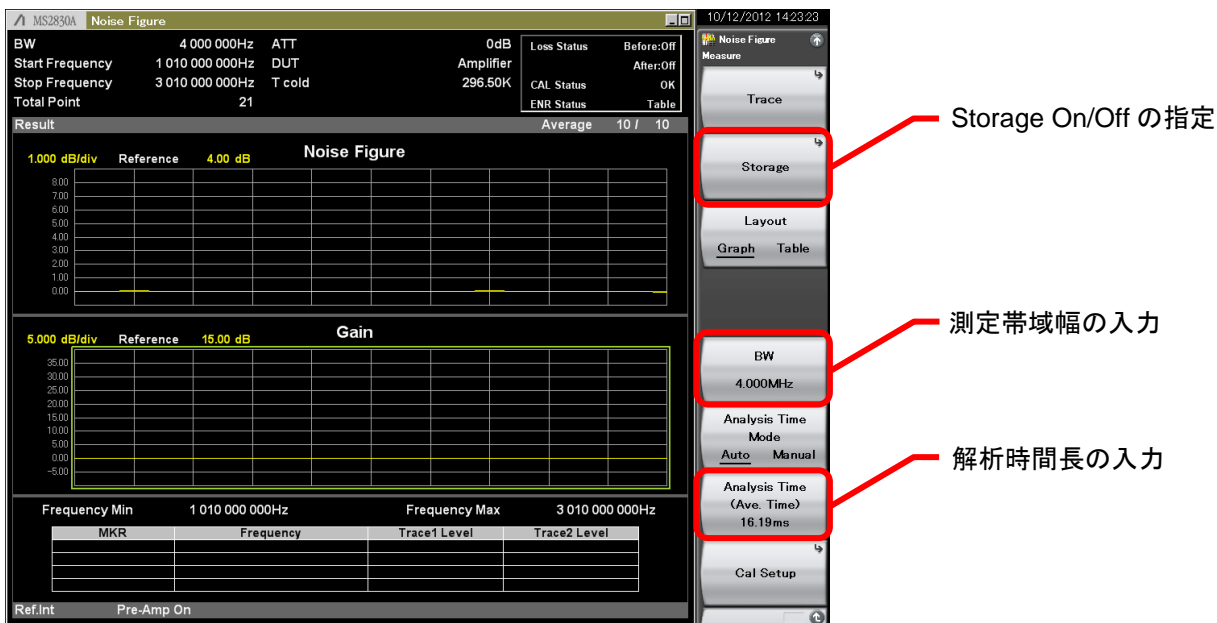
図 4-17. 測定条件の設定画面

③　校正を実行します。(測定系の NF 値の取得)
図 4-18 に示す[Calibration Now]キーにて校正を実行します。
また、図 4-19 に示す Cancel キーにて、校正を中止することが出来ます。(図中の Progress 表示が 100%になると校正は完了します。)

【手順】
CALIBRATION を実行します。

1. [Common setting]キーを押します。

2. [Cal Setup]キーを押します。

3. [Calibration Now]キーを押します。
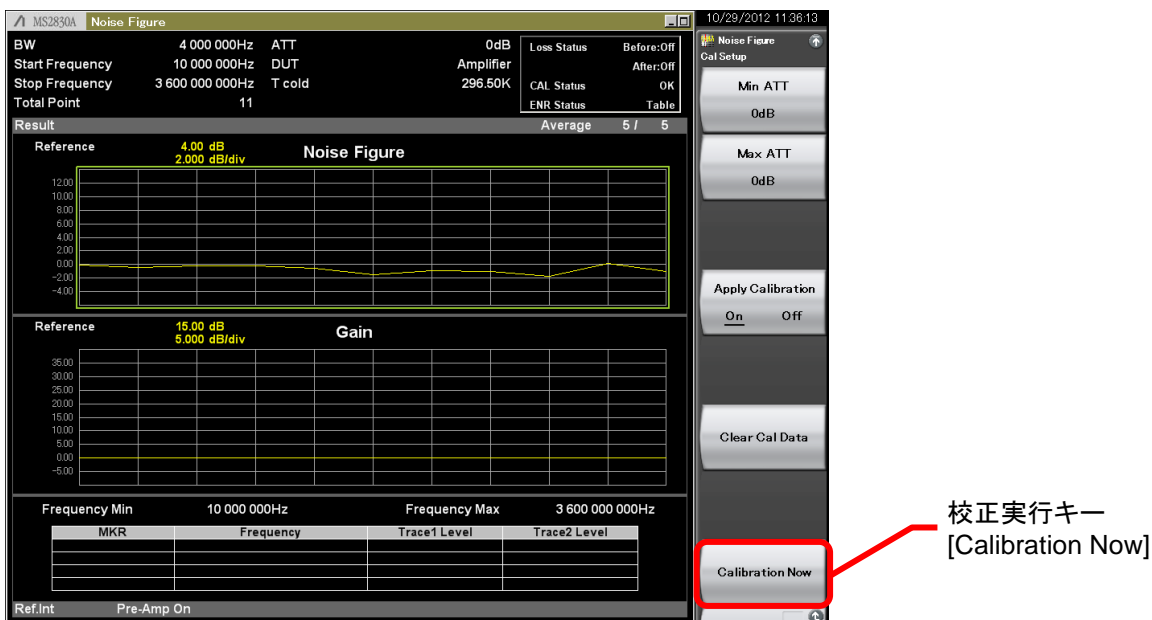
図 4-18. Calibration 実行画面
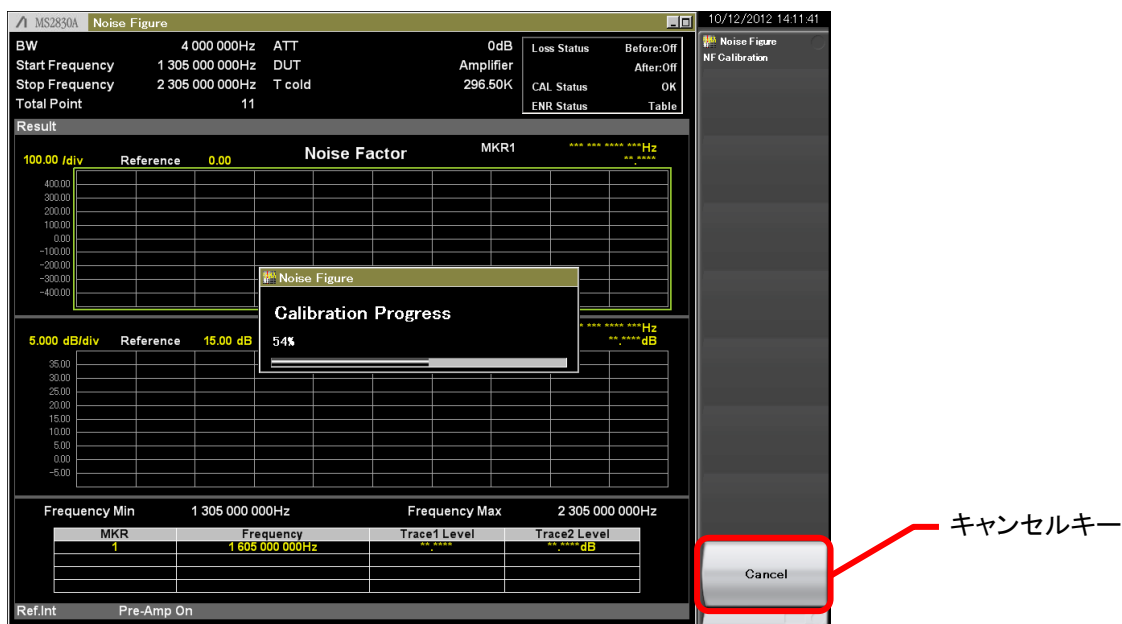
図 4-19.Calibration 中の画面

④　DUT 接続時の測定を行います。
ここでは、校正を実行した状態で、ノイズソースと測定系(スペクトラムアナライザ)間に DUT を接続します。この時に Y ファクタ法により算出される NF は(DUT＋測定系)全体の NF となります。

雑音指数測定機能では、DUT 接続時に測定される NF(NF_t)と、校正時に測定される測定系の NF(NF_2)から、式(7)を用いて、DUT の NF(NF_1)を算出し、結果をグラフまたは表で示します。

DUT 接続時

BNC ケーブル
Noise Source
RF
DUT
IF
Spectrum Analyzer
Noise Source Control
LO
Local Oscillator
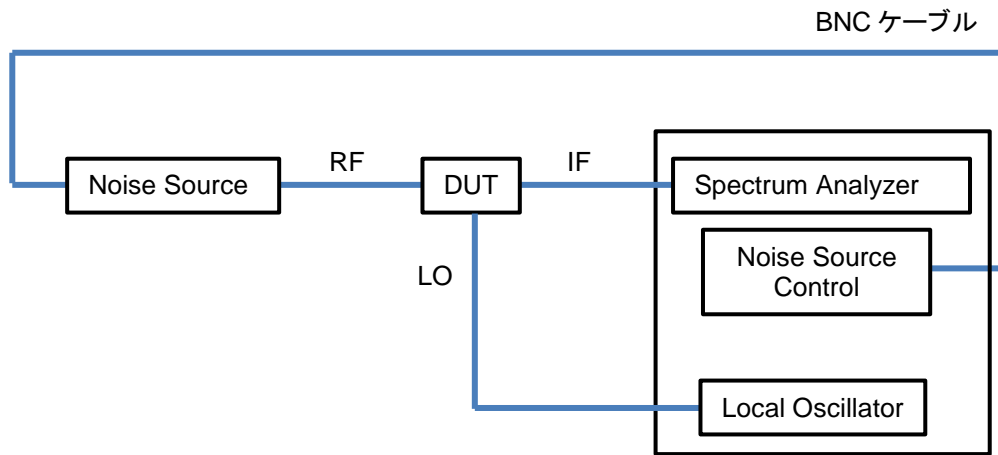
図 4-20.DUT を接続した時の測定系

測定結果をグラフ表示からテーブル表示に変更する場合は Measure ボタンから操作を行います。
【手順】
測定結果表示をグラフからテーブルに切り替える。

1. [Measure]キーを押します。

2. [Layout]キーを押します。

図 4-21.測定結果画面(Graph)

図 4-22.測定結果画面(Table)

ミキサの測定においてはイメージレスポンスや LO リークなどにより不要なレスポンスが発生するため DUT の前後にフィルタを入れる場合があります。またインピーダンスの整合を取るためにアッテネータを入れたり測定確度を向上させるためにアンプを入れたりします。
それらの場合フィルタやアッテネータなどを含んだ測定結果になるため事前に DUT 以外の部分の損失を測定しておき Loss Comp 機能を使って全体の測定結果から DUT の値を抜き出すことができます。

BNC ケーブル
アッテネータ
アッテネータ
Noise Source
DUT
Spectrum Analyzer
フィルター
アンプ
Noise Source Control
Local Oscillator
Before DUT
After DUT
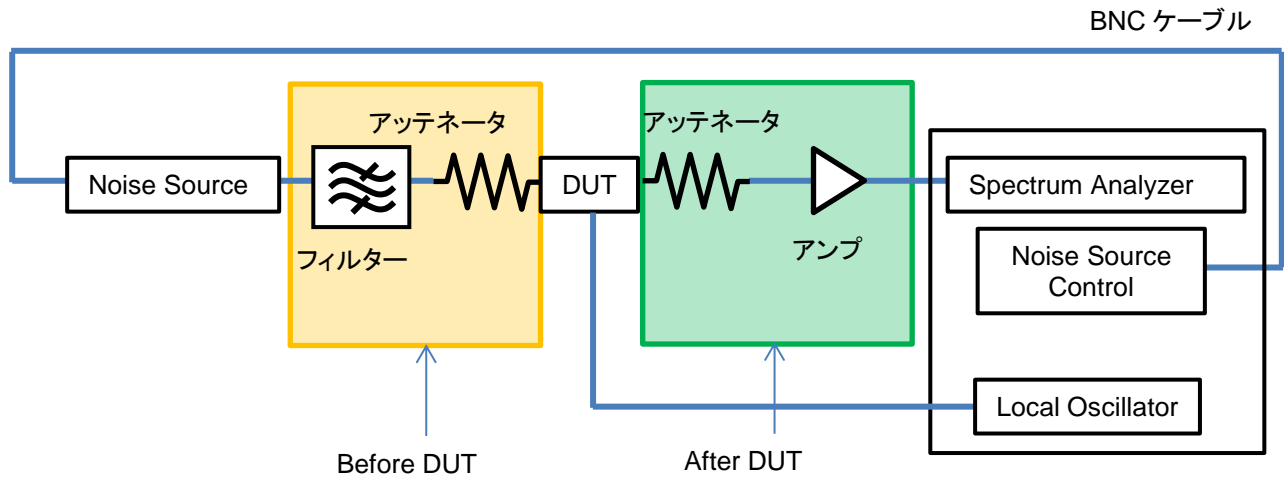
図 4-23.DUT の前後にアッテネータやアンプなどを接続した時の測定系

【手順】
DUT 前後の損失分を設定する。例として DUT より前で 3.1dB、DUT より後ろで 7.8dB の損失があった場合。

1. [Common Setting]キーを押します。
2. [Loss Comp]キーを押します。
3. [Before DUT]キーを押します。
4. 「Fixed」を選択します。
5. [Before DUT Fixed]キーを押し、DUT より前にある損失分として 3.1dB を設定します。
6. [After DUT]キーを押します。
7. 「Fixed」を選択します。
8. [After DUT Fixed]キーを押し、DUT より後ろにある損失分として 7.8dB を設定します。
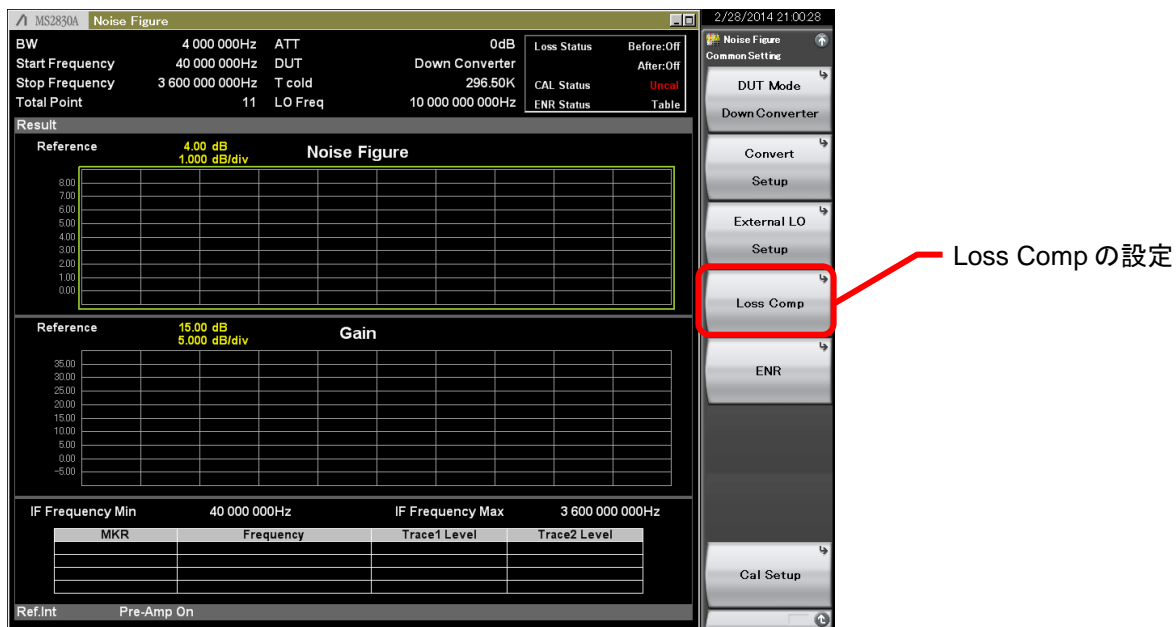
図 4-24.Loss Comp 設定画面
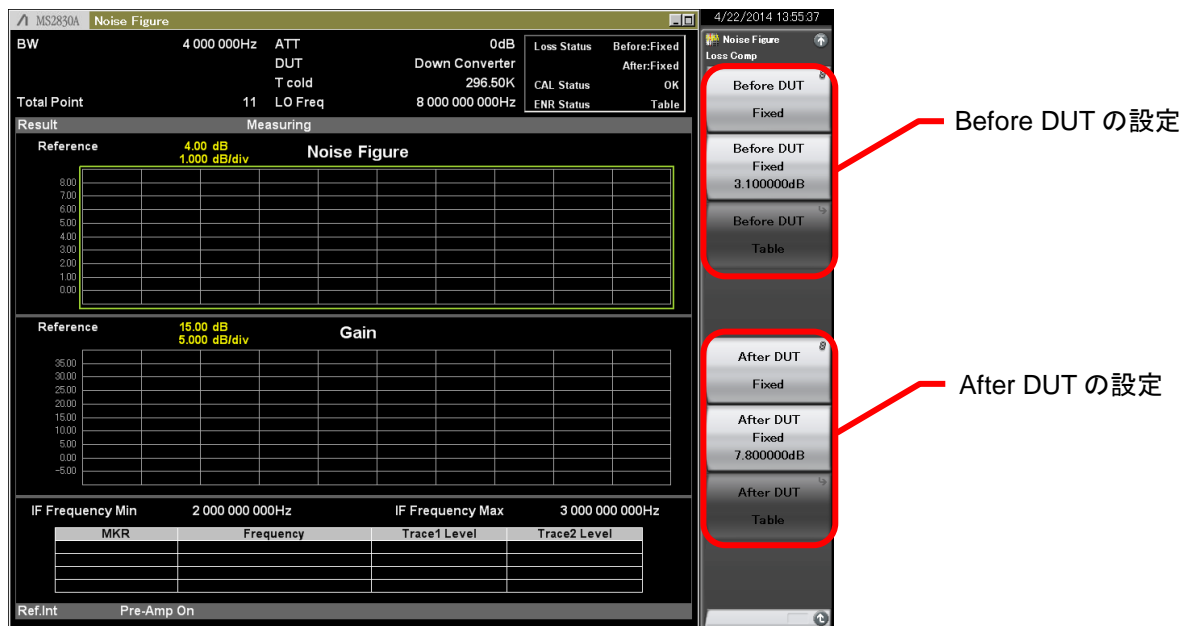
図 4-25.Before DUT, After DUT 設定画面

5. その他の測定時の注意事項

外部要因への配慮

NF 測定では、非常に小さい雑音電力を測定するため、DUT の状態に配慮する必要があります。
例えば、携帯電話などの無線通信が行われている環境下で、それらの信号からの影響が無視できない場合、正しい測定結果が得られない場合があります。
DUT が外部要因の影響を受け、測定結果が正しくないと思われる場合は、シールドケースなどにより、外部要因から DUT を保護することで、外部要因による測定エラーを改善できます。

ゲイン測定範囲

雑音指数測定では、ゲイン測定において、測定範囲があることを注意する必要があります。
ゲイン測定は、校正時に与えられるパラメータと DUT を接続した時に与えられるパラメータより、図 2-1 に示される直線の傾きを求めることを意味します。
例えば、*ENR*: 24dB のノイズソースを使用する場合を考えます。このノイズソースは Off 時に約-174dBm/Hz の広帯域なノイズを出力し、On 時には、約-150dBm/Hz の広帯域なノイズを出力します。
このノイズ成分は、スペクトラムアナライザの内部ブロックにより、ミキサ入力前段で帯域制限され、スペクトラムアナライザの 1st ミキサへ入力されます。その結果、ノイズソースをスペクトラムアナライザに直結した場合に、ノイズソースが On の状態では、ミキサ入力レベルは、-150 dBm/Hz+10*Log(6GHz) ≒ -52 dBm/6GHz となります。
一方で、スペクトラムアナライザには直線性誤差という性能があります。直線性誤差とは、スペクトラムアナライザにおける、相対値測定時の誤差を示しているもので、ある入力レベル以下において保証されています。
このため、高いレベルをスペクトラムアナライザに入力した場合に、内部の半導体部品の歪によって、直線性が保たれず、正しいゲイン測定が行えません。
NF 測定では、測定する DUT のゲインや帯域幅にあわせて、適切な ENR のノイズソースの選択や、測定時のアッテネータ設定を行ってください。

ノイズソースの選択

ノイズソース選択時に、以下の点についてご注意ください。
多くのノイズソースは、アバランシェダイオードにバイアス印加し、アバランシェ崩壊を起こさせることで広帯域のノイズを発生しています。しかし、この動作原理により、ノイズソースの出力端には、DC 電圧が発生する場合があります。
(ノイズソースによっては、この DC 電圧をカットするために、内部に DC ブロックを有するものもあり、この場合、DC 電圧は出力端に生じません。)
このようなノイズソースを使用する場合は、DC ブロックをスペクトラムアナライザの入力端に挿入した状態での測定を行ってください。

対応するノイズソースは、Noisecom 社製 NC346 シリーズです。NC346 シリーズの品種, 概略仕様は以下のとおりです。詳細仕様は、NC346 シリーズのカタログ, データシートを参照してください。

表 5-1. 対応ノイズソース (NC346 シリーズ) 概略仕様

Model	RF Connector	Frequency [GHz]	Output ENR [dB]	DC Offset	DC Block
NC346A	SMA (M)	0.01～18.0	5～7	なし	不要
NC346A Precision	APC3.5 (M)	0.01～18.0	5～7	なし	不要
NC346A Option 1	N (M)	0.01～18.0	5～7	なし	不要
NC346A Option 2	APC7	0.01～18.0	5～7	なし	不要
NC346A Option 4	N (F)	0.01～18.0	5～7	なし	不要
NC346B	SMA (M)	0.01～18.0	14～16	なし	不要
NC346B Precision	APC3.5 (M)	0.01～18.0	14～16	なし	不要
NC346B Option 1	N (M)	0.01～18.0	14～16	なし	不要
NC346B Option 2	APC7	0.01～18.0	14～16	なし	不要
NC346B Option 4	N (F)	0.01～18.0	14～16	なし	不要
NC346D	SMA (M)	0.01～18.0	19～25*1	なし	不要
NC346D Precision	APC3.5 (M)	0.01～18.0	19～25*1	なし	不要
NC346D Option 1	N (M)	0.01～18.0	19～25*1	なし	不要
NC346D Option 2	APC7	0.01～18.0	19～25*1	なし	不要
NC346D Option 3	N (F)	0.01～18.0	19～25*1	なし	不要
NC346C	APC3.5 (M)	0.01～26.5	13～17	**あり*3**	**必要*3**
NC346E	APC3.5 (M)	0.01～26.5	19～25*1	**あり*3**	**必要*3**
NC346Ka	K (M) *2	0.10～40.0	10～17	**あり*3**	**必要*3**

*1: フラットネス ＜±2dB
*2: SMA, APC3.5 と互換
***3: DC 出力されるノイズソースをお使いの場合は、必ず DC ブロックを併用してください。**

表 5-2. 推奨 DC ブロック, 変換アダプタ 概略仕様

	オーダリング 形名	オーダリング 品名	RF コネクタ	周波数範囲
DC ブロック	J0805	DC ブロック、N型 (MODEL 7003)	N (M) -N (F)	10kHz～18GHz
	J1555A	DC ブロック、SMA型 (MODEL 7006-1)	SMA (M) -SMA (F)	9kHz～20GHz
	J1554A	DC ブロック、SMA型 (MODEL 7006)	SMA (M) -SMA (F)	9kHz～26.5GHz
	K261	DC ブロック	K (M) -K (F)	10kHz～40GHz
変換アダプタ	J0004	同軸アダプタ	N (M) -SMA (F)	DC～12.4GHz
	J1398A	N-SMA アダプタ	N (M) -SMA (F)	DC～26.5GHz

表 5-3. シグナルアナライザ MS269xA/MS2830A シリーズ DC ブロック/変換アダプタ 推奨組み合わせ例

	モデル	周波数範囲	RF コネクタ	推奨 DC ブロック オーダリング形名	推奨変換アダプタ オーダリング形名
MS269xA シリーズ	MS2690A	50Hz～6GHz	N (F)	J1555A	J0004
	MS2691A	50Hz～13.5GHz	N (F)	J1555A	J1398A
	MS2692A	50Hz～26.5GHz	N (F)	J1554A	J1398A
MS2830A シリーズ	MS2830A-040	9kHz～3.6GHz	N (F)	不要	不要
	MS2830A-041	9kHz～6GHz	N (F)	不要	不要
	MS2830A-043	9kHz～13.5GHz	N (F)	不要	不要
	MS2830A-044	9kHz～26.5GHz	N (F)	J1554A	J1398A
	MS2830A-045	9kHz～43GHz	K (F)	K261	不要

6. NF 測定方法における不確かさ

前項までに説明したように、Y ファクタ法を用いることにより DUT の NF を測定することが可能となります。本項では、NF 測定における不確かさについて説明します。

以下に校正時と、DUT 接続時の 2 つの状態、それぞれで生じる不確かさを図示します。
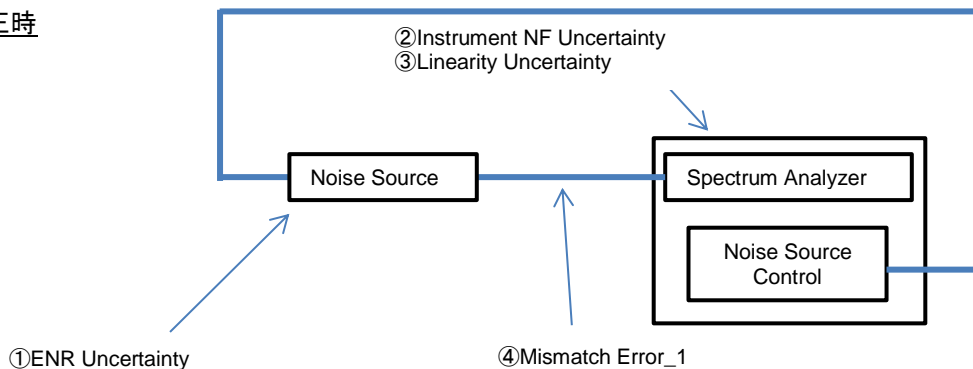
図 6-1. 校正時の測定不確かさ
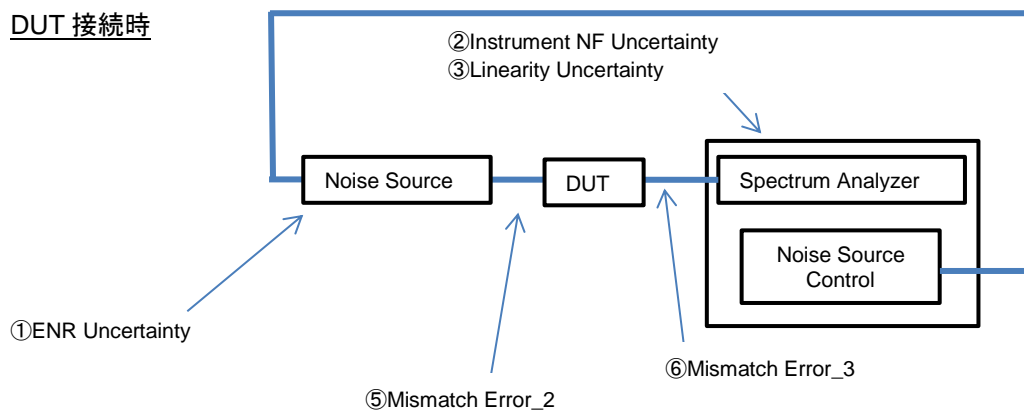
図 6-2. DUT 接続時の不確かさ

① ENR 値の不確かさ: ENR 値の不確かさは、Noise Factor : *F* を算出する際の誤差となります。
※式(13)参照

② スペクトラムアナライザのレベル分解能に起因した不確かさです。校正の動作から得られるスペクトラムアナライザの NF 値として、内部の計算上生じる不確かさとなります。

③ スペクトラムアナライザの直線性誤差による不確かさ。
※Y ファクタ法を用いて DUT の NF を求める場合、DUT のゲイン測定を行う必要があります。DUT のゲインは、図 2-1 での傾きを求めることであり、校正時と DUT 接続時の測定結果から算出されます。スペクトラムアナライザで 2 つのレベル(校正時と DUT 接続時)の相対値を測定する場合、直線性誤差として規格化された不確かさを有します。

④ Calibration 時のノイズソースとスペクトラムアナライザ間のミスマッチエラー。

⑤ DUT 接続時のノイズソースと DUT 間のミスマッチエラー。

⑥ DUT 接続時の DUT とスペクトラムアナライザ間のミスマッチエラー。

これらの不確かさは、DUT や使用するノイズソースの ENR 等によって変化します。
このため、① ~ ⑥のパラメータを入力することで、測定における不確かさの期待値を算出するツールとして、Uncertainty Calculator を提供します。

下記のように、Uncertainty Calculator へ① ~ ⑥のパラメータ及び測定結果を入力することで、雑音指数測定機能で求めた NF の不確かさを算出することができます。

Uncertainty Calculator

01,November,2012
Copyright(C) Anritsu Corporation

This spreadsheet calculates the total uncertainty of noise figure measurement.
Please input parameters of your devices and environment into the orange cells.
For more information, please see the "Tutorial" spreadsheet.

(orange)	Input Parameter
(green)	Calculation Result

Measure Parameter								
		Unit	Linear					
Temperature	296.5	K						
kTB	-173.88096	dBm						
DUT NF : F1=	3	dB	1.995262315		F12/F1=	1.09149013		
Y factor	4	-	2.511886432					
ENR	15	dB	31.6227766					
DANL	-161.0356							
Instrument NF : F2=	12.8453632	dB	19.25468049		F2/F1G1=	0.096502		
DUT GAIN : G1=	20	dB	100		(F2-1)/F1G1=	0.09149013		
Combined NF : F12=	3.38019812		2.17780912		(F12/F1)-(F2/F1G1)=	0.99498813		
Mismatch Error								
Match	VSWR	Unit	Reflection coefficient			Negative	Positive	Max
Noise Source=	1.1	-	0.047619048		Uncertain NS-DUT IN=	0.0831192	0.08233132	0.0831192
DUT Input=	1.5	-	0.2		Uncertain NS-NFA=	0.11898665	0.11737867	0.11898665
DUT Output=	1.5	-	0.2		Uncertain DUT OUT-NFA=	0.51108209	0.48267359	0.51108209
Instrument=	1.8	-	0.285714286					
System Uncertainty								
Uncertainties		Unit						
Instrument NF=	0.02	dB	*1		Uncertain NF12=	0.19842503		
Gain Uncertainty=	0.07	dB	*3		Uncertain NF2=	0.21532109		
Noise Source ENR=	0.18	dB	(Amplifiers Only)*2		Uncertain G1=	0.55798117		
Noise Source ENR=	0.18	dB	(Receivers Only)*2		Uncertain ENR=	0.18		
					Total Uncertainty =	0.28348851	dB	

*1 : Instrument NF Uncertainty
Analysis Time : Auto, <+/-0.034dB
*2 : Noise Source のENR Uncertainty
Uncertainty is +/- .18 dB (NC346 series)
*3 : Gain Uncertainty
Gain is defined by the following. So, Gain Uncertainty is effected by "Linearity Error" of Spectrum Analyzer.
Gain=(N'2-N'1)/(N2-N1)
*Support scope
This sheet is applicable to MS269xA-017/117, and MS2830A-017/117.

図 6-3. Uncertainty Calculator への入力例

*: Uncertainty Calculator はこのアプリケーションノートに埋め込みファイルとして置きました。

7. まとめ

このアプリケーションノートでは、NF 測定における基礎的な原理の解説と、測定時の注意点について記載しています。
NF を正しく測定するためには、測定原理を理解し、適切な測定方法にて測定する必要があります。

アンリツは、MS269xA/MS2830A シグナルアナライザシリーズの MS269xA-017/MS2830A-017: 雑音指数測定機能により、NF 測定を必要とする設計者をサポートいたします。

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

http://www.anritsu.com

本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1 TEL 046-223-1111

厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5
計測器営業本部 TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
計測器営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1
ネットワークス営業本部 TEL 046-296-1205 FAX 046-225-8357

新宿 〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-14-1 新宿グリーンタワービル
計測器営業本部 TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
ネットワークス営業本部 TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
東京支店(官公庁担当) TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562

仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 住友生命仙台中央ビル
計測器営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
ネットワークス営業本部東北支店 TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529

名古屋 〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅3-20-1 サンシャイン名駅ビル
計測器営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485

大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル
計測器営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
ネットワークス営業本部関西支店 TEL 06-6338-2900 FAX 06-6338-3711

広島 〒732-0052 広島県広島市東区光町1-10-19 日本生命光町ビル
ネットワークス営業本部中国支店 TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306

福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア
計測器営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
ネットワークス営業本部九州支店 TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221、FAX: 0120-542-425
受付時間／9：00～12：00、13：00～17：00、月～金曜日(当社休業日を除く)
E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。 1305

■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

No. MS269xA/2830A-017-J-F-1-(2.00) 公知 2014-5 MG